

出國報告（考察）

「考察觀摩跨海橋梁之監造及施工管理制度」

服務機關：交通部臺灣區國道新建工程局第二區工程處

姓名職稱：張震宇主任

派赴國家：日本

出國日期：102年4月22日至102年4月26日

報告日期：102年7月16日

摘要

金門大橋工程為國內首件長跨距之跨海橋梁工程，為吸取國外跨海橋梁之施工與管理經驗，請台灣世曦工程顧問股份有限公司商請施工經驗豐富及品質管理優良之日籍外商鹿島建設株式會社協助參訪工地及經驗交流，本次考察觀摩行程自 102 年 4 月 22 日至 102 年 4 月 26 日，主要行程分兩部分，(1) 跨海橋梁施工經驗研討、(2) 東京主要橋梁之實地參訪，4 月 23 日至鹿島建設株式會社海外土木支店拜訪，聽取日本鹿島建設株式會社於國內、海外跨海橋梁之施工經驗及由本人簡介金門大橋工程設計內容，研討金門大橋海中基樁、墩柱與上構施工作業、施工機具、材料運補等應注意與要求事項，4 月 24 日~25 日參訪東京都晴空塔俯瞰東京各主要橋梁之分布位置，及至橫濱市海灣大橋、東京灣京門大橋、彩虹大橋、隅田川等各種不同型式橋梁進行實地參訪，參訪過程鹿島建設提共跨海橋梁施工、維護、管理之經驗給予分享，提供金門大橋後續施工及各單位之參考。

目次

一、前言	1
二、東京晴空塔	2
三、跨海橋梁施工經驗研討	4
四、橫濱海灣大橋	12
五、隅田川橋及彩虹大橋	16
六、東京灣京門大橋	19
七、心得與建議	27

一、前言

102年4月22~26日期間，本人奉派赴日本考察跨海大橋相關監造實務及施工管理制度。基於國內廠商並無跨海大橋實際施工經驗，考量此次參訪行程對於跨海橋梁施工監造及管理技術之提昇有正面效益，除學習日本營造廠商如何進行海橋工程施工，日本廠商過去曾遭遇過之困難與解決對策外，亦可將金門大橋施工可能遭遇之問題，就教於日本營造廠商。台灣世曦工程顧問股份有限公司為吸取相關經驗，蒐集更多跨海橋梁施工監造及營建管理等技術，以為金門大橋工程施工經驗參考與借鏡，亦指派負責金門大橋工程監造業務之鄧建華經理及柯明佳副理會同參訪。

本次參訪經由鹿島建設株式會社的安排與說明，瞭解現階段在日本國內跨海大橋之海事工程，皆已施作完成，目前並無興建中之跨海大橋，故無法實際觀摩施工作業，而僅能於完工通車後現況參訪，及藉由相關文獻對跨海橋梁工程做初步的瞭解。

本次行程如下：

102.04.22 台北搭機到東京

102.04.23 參觀東京晴空塔及拜訪鹿島建設株式會社海外土木支店

102.04.24 參訪橫濱海灣大橋及隅田川各式橋梁

102.04.25 參訪東京灣京門大橋及彩虹橋

102.04.26 東京搭機回台北

二、東京晴空塔(Tokyo Skytree)

東京晴空塔（日語：東京スカイツリー，英語譯名：Tokyo Skytree），又稱東京天空樹、新東京鐵塔，是位於日本東京都墨田區的電波塔，由東武鐵道和其子公司東武塔天空樹共同籌建，承包商為大林組，於2008年7月14日動工，2012年2月29日完工、同年5月22日正式啟用。其高度為634.0公尺，於2011年11月17日獲得金氏世界紀錄認證為「世界第一高塔」，成為全世界最高的自立式電波塔。其亦為目前世界第二高的人工構造物，僅次於阿拉伯聯合大公國828m高的哈里發塔。



晴空塔近照

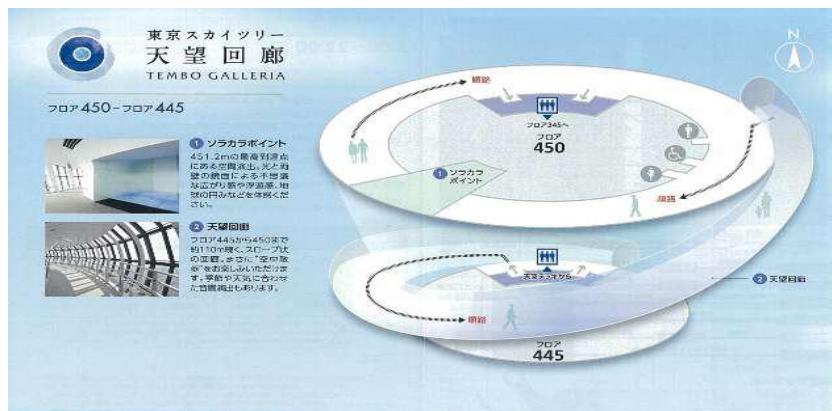


晴空塔遠照



東京都晴空塔平面位置圖

晴空塔高度450m處設有天望回廊(Tembo Galleria)，東京灣、上野及淺草等地區之主邀橋梁位置可一覽無遺，其中隅田川上設有多座跨河橋梁，型式多元，使得該川有「橋梁博物館」之稱號。晴空塔建造之目的，除解決東京都會地區因高樓林立所造成之電波傳輸障礙，並且可帶動該地區之觀光發展，目前也已取代東京鐵塔，成為此座城市之新地標。



晴空塔「天望迴廊」



由天望迴廊鳥瞰東京都及隅田川



晴空塔鳥瞰東京都



晴空塔鳥瞰隅田川

三、跨海橋梁施工經驗研討(拜會鹿島建設株式會社海外土木支店)

本次參訪日本跨海橋梁，特別安排拜會鹿島建設株式會社海外土木支店，除蒐集日本已興建完成之跨海橋梁技術資料外，也進一步瞭解日本在

跨海橋梁施工監造實務與營建管理制度，日方由海外土木支店部長以簡報方式介紹由該社施工完成之相關跨海橋梁案例，並分享施工中可能面臨之困難及對策等。同時鹿島建設為表達對本次考察行程之重視，行前亦請本次參訪人員事先針對臺灣金門大橋施工時可能遭預困難及疑慮提出問題，並由其海外土木支店部長就其施工經驗，進行跨海橋梁施工相關問題建議解決對策等詢答交流。

由於跨海大橋係於海上施工，將會面臨季風、波浪、海流、潮汐及颱風等自然天候、氣象及海象等因素干擾，施工期間工作船舶之選擇、如何維持定位精度、鋼筋及混凝土主要材料之運送，及既有航道交通之維持暢通與夜間通行安全等，都為待解決及預防之課題，尤其金門地區岩盤為堅硬之花崗片麻岩，下構全套管基樁施工時即將先面臨鑽掘不易之困難。藉由其他類似工程之施工經驗，可提供做為參考。謹將與鹿島建設株式會社所提出之跨海橋梁案例及討論議題整理如下：



海外支店部長簡報（一）



海外支店部長簡報（二）



討論情形（一）



討論情形（二）



與鹿島石丸所長於海外支店合影



鹿島建設東京海外土木支店

■ 鹿島海外支店部長簡報跨海橋梁案例

➤ 菲律賓Second Mandaue-Mactan Bridge 工程(宿霧島~Mactan島)

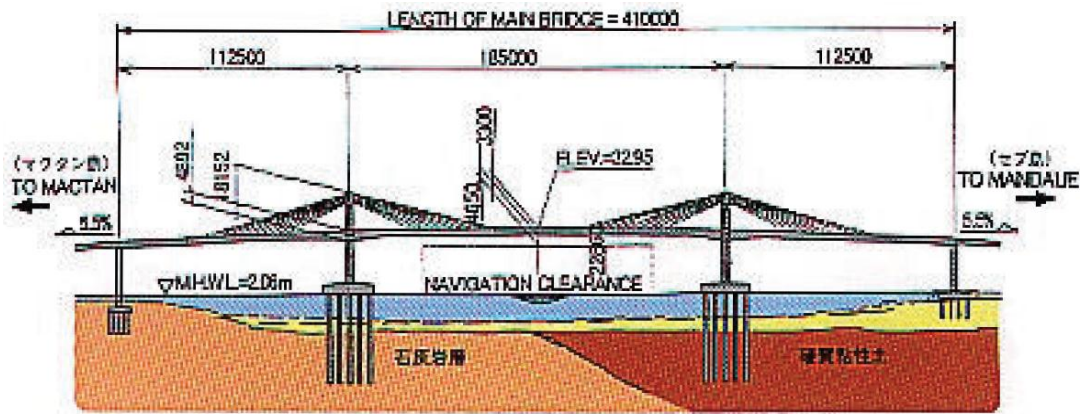
業主：為菲律賓共和國，公共事業部

工程內容：主橋為3跨連續PC脊背橋410m(112.5+185+112.5)，H型塔高18.2m；海中多柱式基礎，直徑2.5~3.0m 場鑄樁(全旋轉套管工法(CD 工法))；施工期1996年10月~1999年10月。



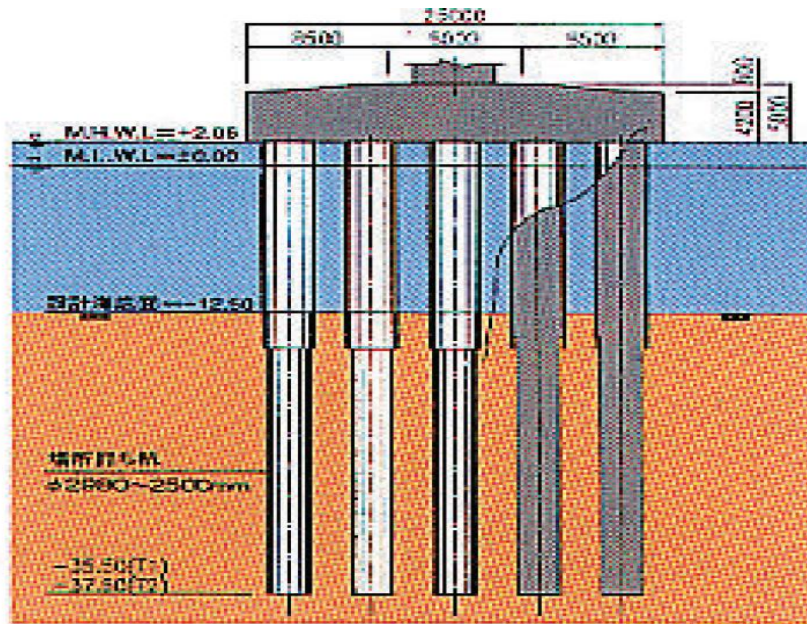
Second Mandaue-Mactan Bridge

Second Mandaue-Mactan Bridge施工案照



橋梁一般図

Second Mandaue-Mactan Bridge 側立面圖

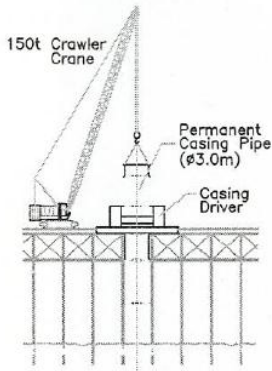


主塔基礎一般図

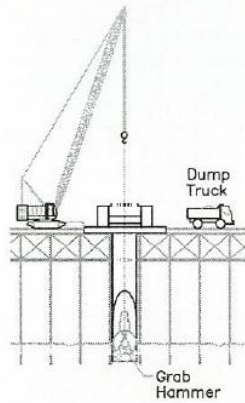
主塔基礎下部構造圖

SEQUENCE OF PILE:

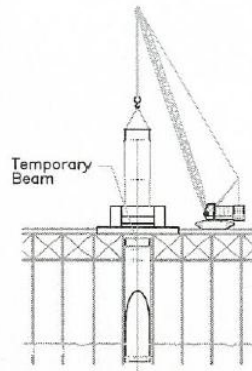
1. Installation of Casing Driver and Pitching of Permanent Casing Pipe ($\phi 3.0\text{m}$).



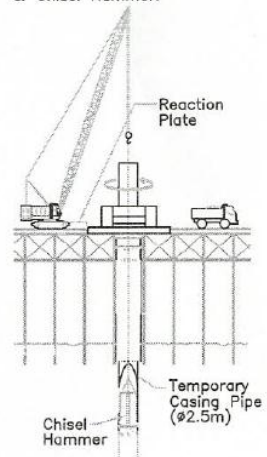
2. Rotation, Insertion and Excavation with Grab Hammer.



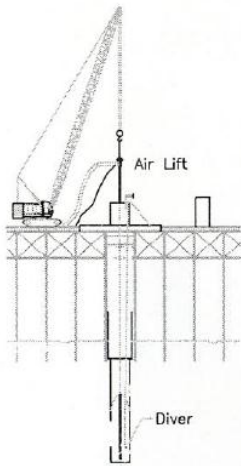
3. Fixing with Temporary Beam and Cutting of Permanent Casing Pipe.



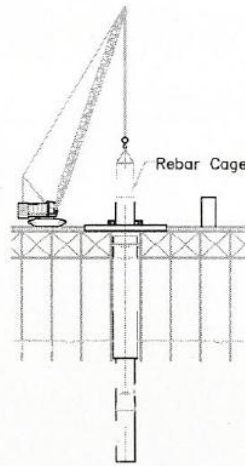
4. Installation of Temporary Casing Pipe ($\phi 2.5\text{m}$), Rotation, Insertion and Excavation with Grab Hammer & Chisel Hammer.



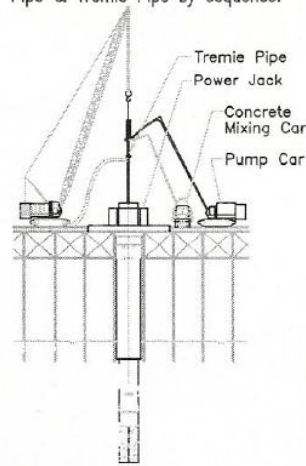
5. Treatment of Slime of Bottom Bored Pile and diver check.



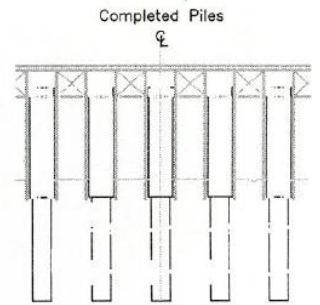
6. Insertion of Rebar Cage.



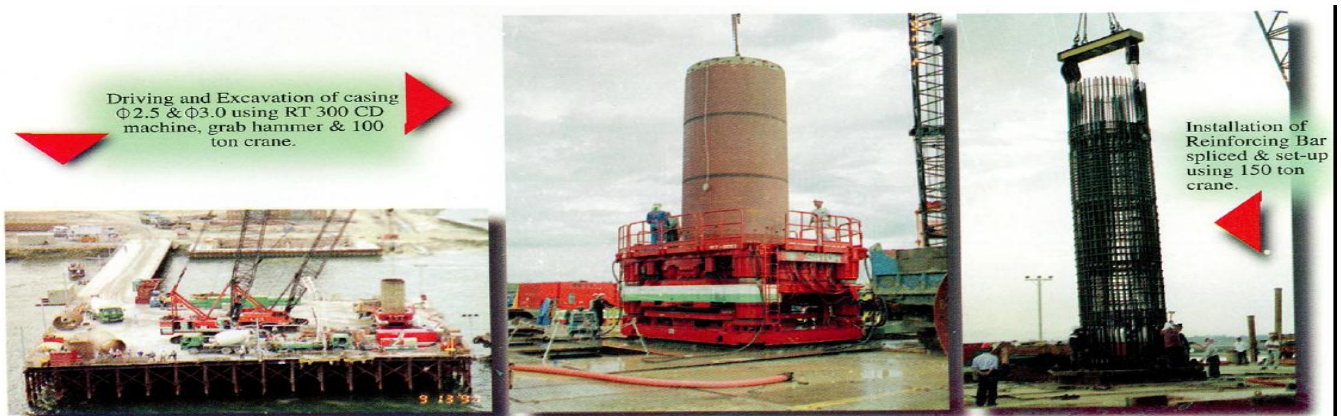
7. Installation of Power Jack & Concrete Pouring with Pump Car then remove Temporary Casing Pipe & Tremie Pipe by sequence.



8. Completion of Bored Piles.



Second Mandaue-Mactan Bridge 基樁施工流程圖



Second Mandaue-Mactan Bridge 基樁施工檔案照片

➤ 帛琉共和國友誼橋工程

業主：帛琉共和國資源開發省

工程內容：主橋3為跨連續PC及鋼脊背混合橋，全長

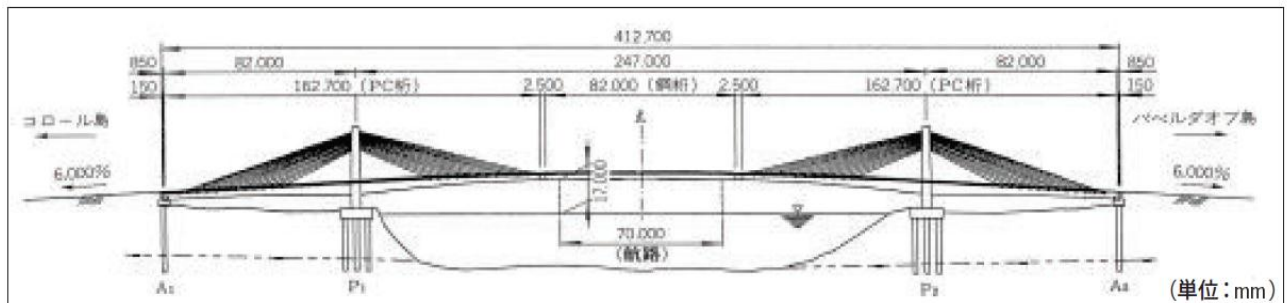
412.7m(82.85+247+82.85)，H型塔高27m，PC梁採懸臂工法，鋼梁全區塊一次架設；直徑2.0m場鑄樁(旋轉削掘式全套管樁)；施工期1999年11月~2001年12月。



日本-帛琉 友誼橋 (一)



日本-帛琉 友誼橋 (二)



全体一般図

Japan-Palau Friendship Bridge 側立面圖



82m 鋼箱梁架設



全迴旋掘削機

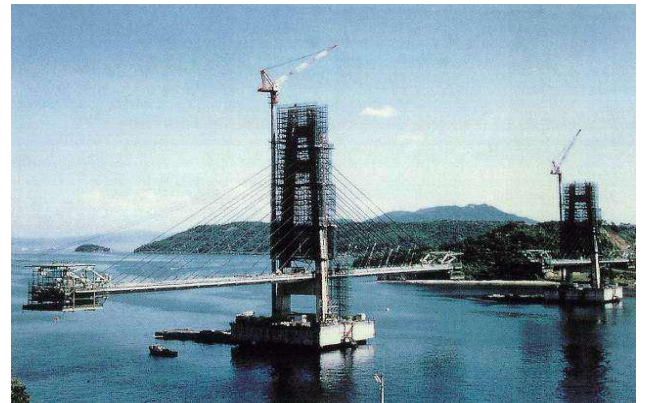
➤ 日本伊唐大橋工程

業主：鹿兒島縣出水耕地事務所

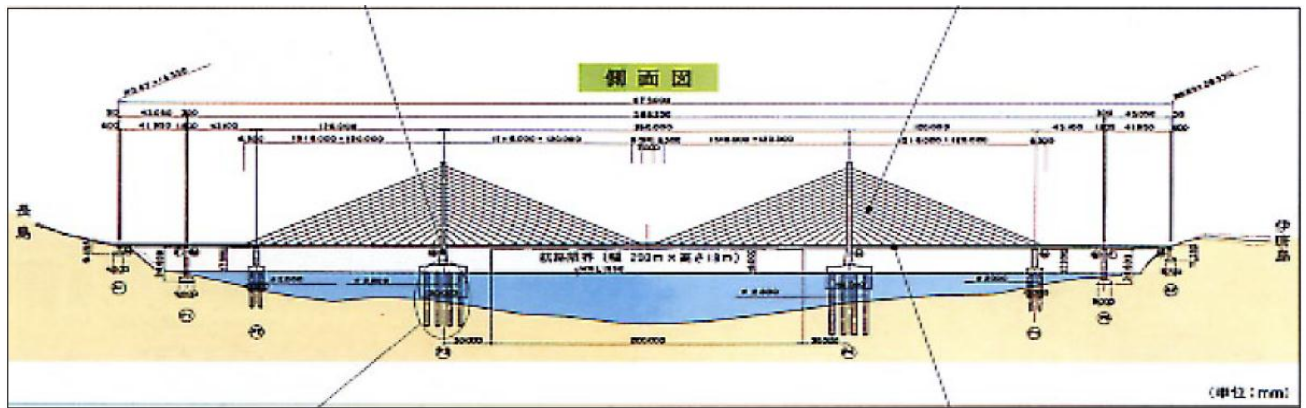
工程內容：主橋為5跨連續PC斜張橋588.2m(43.1+120+260+120+43.1)，H型塔高75.6m，邊跨為PC桁橋，全長675m；墩柱P2~P5採直徑2.0~2.8m 多柱式樁基礎，其他為直接基礎；施工期1990年12月~1996年3月。



伊唐大橋



上部結構施工



伊唐大橋側立面圖



基礎施工桁架



基礎施工吊支保工



基礎完成(30x30x5.5)

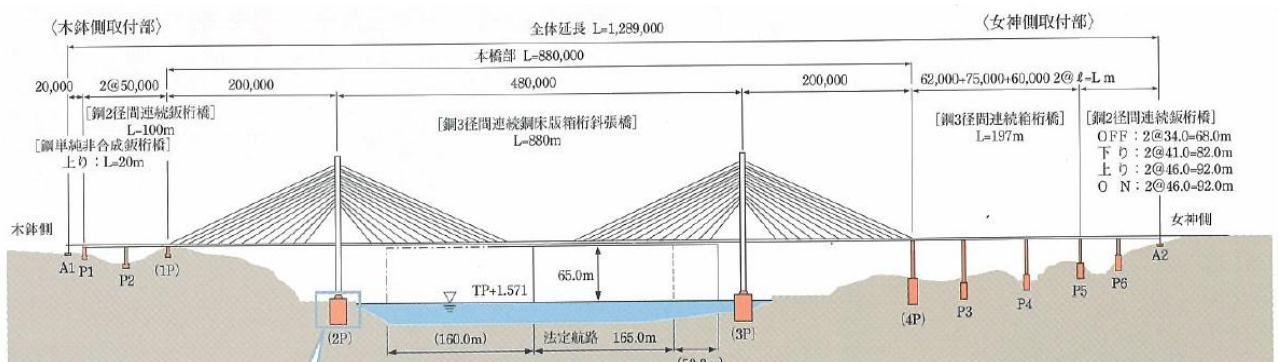
➤ 日本長崎港女神大橋工程

業主：國土交通省九州地方整備局

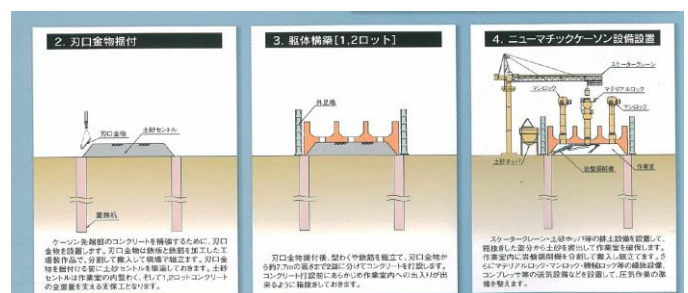
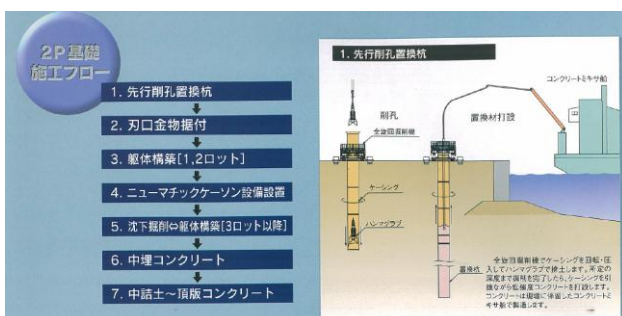
工程內容：主橋為3跨連續鋼斜張橋880m (200+480+200)，H型橋塔高170m，邊跨鋼箱梁橋，全長1289m；沉箱式基礎51m*20m*42m(長*寬*深)，沿基礎週界先打設直徑2.0m 基樁，再採無人式岩盤掘削機取土並將基礎底漸進下沉至預定深度，及施作整體沉箱基礎；施工期1998年12月~2002年1月。



長崎港女神大橋



女神大橋側立面圖



基礎施工順序

■ 問題探討：

討論一、堅硬地質，基樁施工如何克服無法鑽掘之困難(金門大橋樁徑為1.5m、2.0m及2.5m)

建議：

- ◆ 岩盤堅硬，鑽頭因依地質條件而有不同選擇(如高土質鑽頭、滾轉式鑽頭等)。
- ◆ 應選用鑽掘效能足夠之鑽掘機或其他輔助工法(以女神大橋為例：直徑2m之基樁使用直徑3m之鑽掘機；其他則如先以2.5m鑽掘較軟土層，俟減少磨阻後才進行岩層鑽掘)。

討論二：深槽區鑽掘機社應注意事項(旋轉時無法取得反力，折損鑽掘功率)

建議：

- ◆ 施工構台之勁度應確認足夠及安全(女神大橋施工時利用鑽掘機打設支承樁)。
- ◆ 採船舶施工時船錨或船錘力要滿足穩固之需求，避免飄移影響作業。

討論三：海上作業應注意事項

建議：

- ◆ 以船舶施工易受潮汐、海浪及其他通行船隻的影響，應注意工作船隻錨定穩固性，以金門海域深槽區約23m深度，採用固定式工作平台亦是適宜之工法選擇。
- ◆ 應注意確認套管設置位置之正確性(潮流影響)，海中段基樁施工應打設外套管，俾減少海流及波浪對內套管基樁施工之影響。
- ◆ 配合作業需求，施工船隻應配置足夠，可減少海面作業之時間、風險及成本。

討論四：跨海橋梁之監造及施工管理

建議：

- ◆ 海上作業人員應建立詳細管制清冊，人員進出應明確核對，避免意外發生時，人員動向無法掌控之情形。

- ◆ 施工區域航道管理應建立詳細計畫，避免航行船隻發生碰撞之意外。
- ◆ 應加強航道警示及防墜防護，確保船隻及施工人員安全。

討論五：海上橋梁耐久性設計

建議：

- ◆ 加大保護層
- ◆ 塗布環氧樹脂等、採用防蝕鋼筋
- ◆ 混凝土表面保護
- ◆ 實施電氣防蝕
- ◆ 降低水灰比

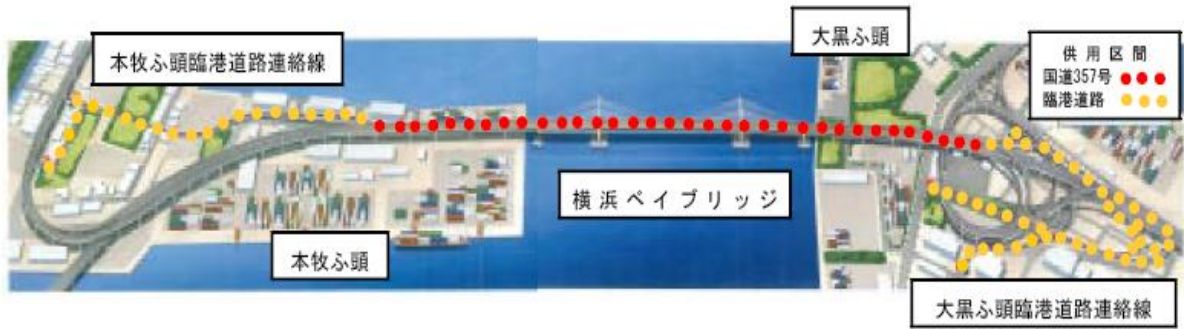
討論六：海上混凝土澆置之注意事項

建議：

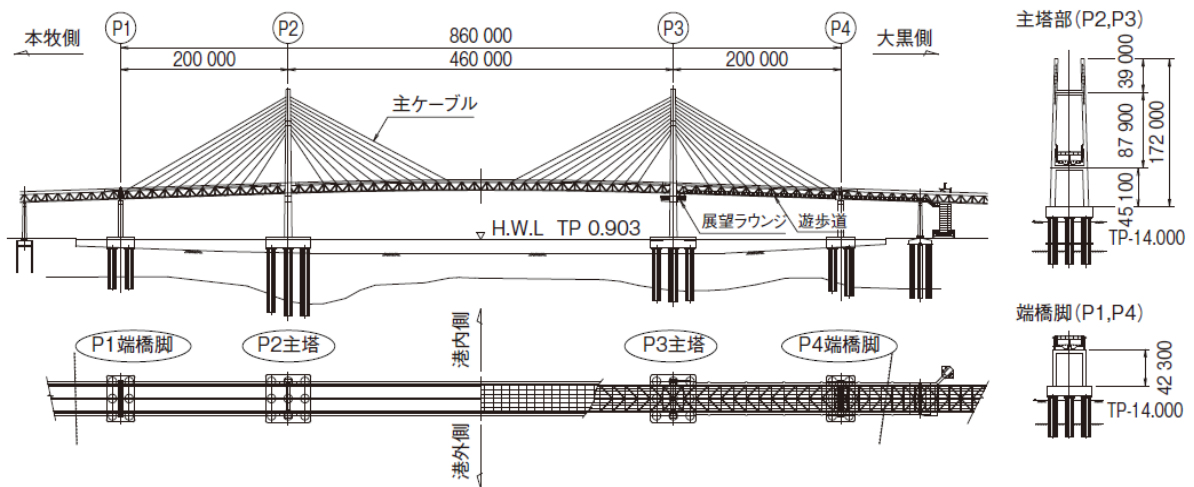
- ◆ 混凝土拌合船易受海象之影響且成本甚高，混凝土預拌廠可設於陸地上，再由拖船拖載運混凝土預拌車至現場澆置，如此料源及出料品質較易掌控。

四、橫濱海灣大橋

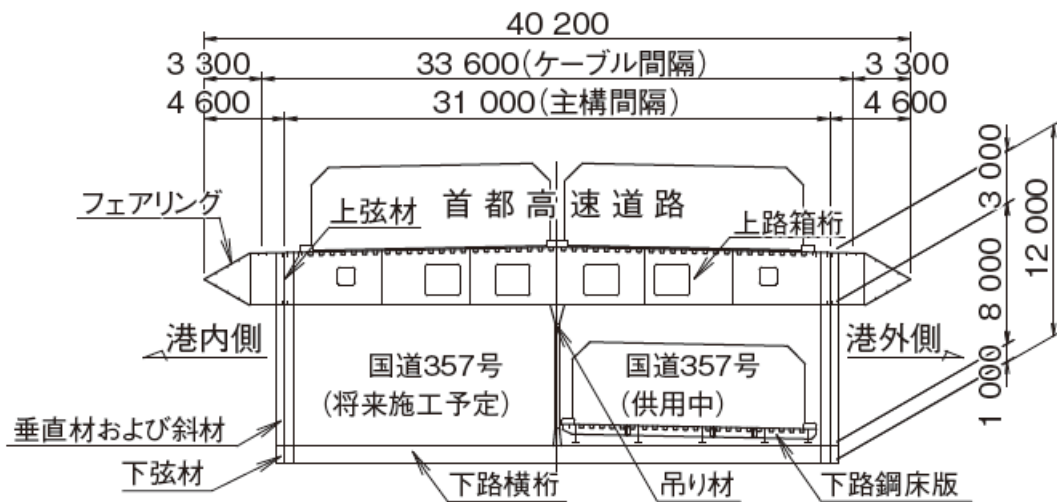
橫濱海灣大橋位於日本神奈川縣橫濱市，開通于1989年，它聯結本牧碼頭和大黑碼頭，是港灣物流輸送的重要路線，建設的目的是要消解高度經濟成長期間惡化的橫濱市街交通。本橋之上層部分是首都高速道路灣岸線，下層部分是國道357號，為全長860公尺（中央支間長460公尺）的斜張橋，完工時為當時世界最長之斜張橋。因自1995年兵庫縣地震後，日本耐震設計規範有大幅修正，因此本橋於2006年辦理耐震補強工程，於2008年完工。從建造在大黑碼頭那側橋下的空中走廊，不僅能觀賞港口，還能全方位眺望富士山和房總半島等地的景色。



横濱港灣大橋位置圖



横濱海灣大橋平、立面圖



横濱海灣大橋斷面圖



橫濱港大樓遠眺海灣大橋(一)



橫濱港大樓遠眺海灣大橋(二)



海灣大橋遠照



海灣大橋近照



與鹿島海外支店部長於橫濱港合影



參訪團於船上合影



海灣大橋維修台車



海灣大橋上下雙層橋



海灣大橋瞭望台



防撞警示設施



海灣大橋上人行步道電梯樓



海灣大橋橋面人行步道

五、隅田川橋梁及彩虹大橋

本次訪問日本，由前述晴空塔450m高之天望回廊遠眺，利用相機鏡頭沿隅田川巡禮，沿線可看到許多日本的各式各樣橋梁，有梁橋、拱橋、斜張橋、吊橋等應有盡有，有如觀賞一場橋梁博覽會，日本橋梁工程界讓橋梁除具交通功能外，亦可成為觀光景點之具體作法，兼具教育與休閒功能，實值得我們學習與效尤。

長期以來，包括橋梁在內的土木工程學科教育中往往僅注重結構設計內容，而忽視了工程美學，使不少橋梁技術人員只重視實用、安全、經濟等，而缺乏美學意識與審美能力，致所建的橋梁沒有風格，缺乏生命力。這些年來我們國家交通事業發展迅速，各種長大橋的建造如雨後春筍般的湧現，這方面的問題更為突出，因而培養技術知識與美學修養兼備的新型人才已刻不容緩。因此，藉由本次赴日觀摩的機會，對東京及近郊幾座特殊橋梁，從橋梁美學的角度進行觀摩，希望對日後之橋梁規劃設計與監造有所助益。

■ 與周圍環境協調的東京灣「彩虹橋」

東京灣「彩虹橋」所位處的地理環境，橋址位於東京灣內，凌空而降的磅礴氣勢，在浩瀚蒼穹帷幕的籠罩下，沒有任何屏障的空曠視野，自是構築為渾然天成的絕佳背景。佔著天然的景觀優勢，為凸顯橋梁的特殊與美兼融地形與地物，彩虹橋依線形於主橋兩側搭配適當跨徑的橋梁型式，以塑造長大橋整體之美。橋型與地形相配襯，東京灣因優美和諧的彩虹橋誕生而增色，彩虹橋本身也因在空曠的海灣中蜿蜒連續，與原有的景觀相互補充，自然和諧，恰當地展現橋梁的存在，使風景更為美麗生動。



東京灣「彩虹橋」



彩虹橋（一）



彩虹橋(二)

■ 對稱均衡的東京隅田川「櫻橋」

在傳統美學中認為對稱就是美，也是自古以來重要的構圖手法，很多建築物都是對稱形式，表現出肅穆、端莊。大部分古今中外橋梁所採取的佈局也都是對稱形式，左右對稱的橋若同時存在著水面映射對稱，則上下相映，虛實相生，動靜相濟，則所呈現出的景色將相當動人。如照片為日本東京隅田川上的「櫻橋」，它採用了類似立體交叉橋佈局，兩端對稱分叉，構思十分巧妙，全橋功能合理，輕盈而簡潔。



隅田川「櫻橋」



「櫻橋」夜間照明



「櫻橋」鳥瞰照

■ 非對稱均衡的「葛飾橋」

東京首都高速公路上的「葛飾橋」，不僅兩個主塔高度不同，而且橋處於 S 形平曲線上，技術難度很大，全橋型態優美，順適流暢，是技術與美觀、型態與環境適當結合的範例。由照片「葛飾橋」例看出，非對稱結構型態具有明顯的動態感，但這種動態只是一種態勢和感覺，建築物呈現的仍是靜止而可視的形象，且不隨時間變化。所以非對稱結構儘管外型多變，但在力學和視覺上仍需保持均衡，因而在構圖上比對稱結構更需明確均衡中心，更需要展現出槓桿原理的應用，力感明確而穩定，否則會引起混亂和不安定感。



東京首都高速公路上的「葛飾橋」

■ 展現節奏與韻律的「東京灣橫斷道路橋」工程建築構圖上的節奏與韻律就是通過量體大小的收分，空間虛實的交替，細部構件排列的疏密、長短、寬窄的變化、曲柔剛直的穿插...等有規則的重複與有秩序的變化來展現的。如日本東京灣橫斷道路橋，其橋墩造型搭配主梁型態非常優美，整體韻律感很強，為這座大橋增色不少。



東京灣橫斷道路橋(一)



東京灣橫斷道路橋(二)

六、東京灣京門大橋

「京門大橋」主要聯通江東區與大田區的跨海橋梁，採用特殊造型之三跨連續鋼桁架橋，橋跨度 $160+440+160=760\text{M}$ ，主跨達440 公尺之連續桁架橋，橋下航道需求為淨高52.5 公尺，淨寬310.3 公尺，橋上方飛機航高限制為98.1 公尺，橋寬22.3M，橋面設置雙向4車道及僅一側設人行道3.5M寬，上部鋼構總重達2 萬公噸，是著名東京鐵塔之5 倍重。兩側引橋採鋼床板鋼箱型梁橋，鋼梁與RC 橋墩採剛接方式，基礎則採鋼管樁基礎。



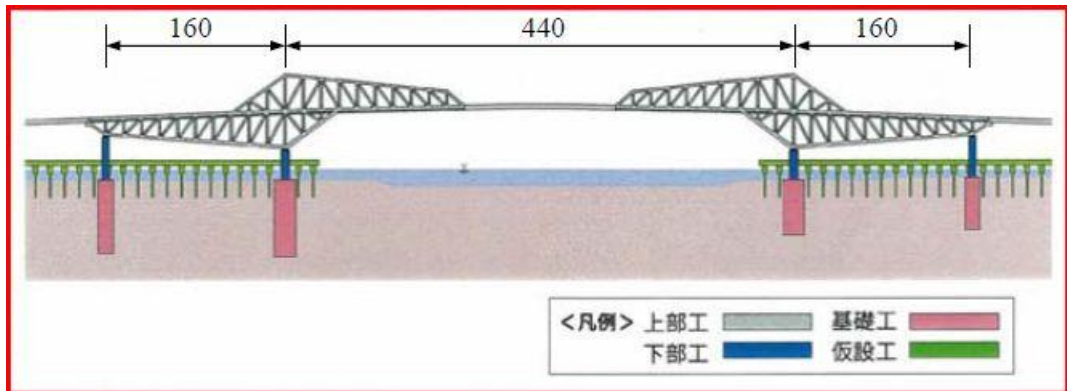
「京門大橋」位置圖



新木場站



若洲海濱公園



「京門大橋」立面圖



京門大橋標誌



京門大橋主橋體前

2012年2月剛剛通車的Tokyo Gate Bridge，連結東京江東區若洲與中央防波堤外側海埔新生地的海上橋，原是為了改善逐年增加的集裝箱運輸造成交通擁塞問題，成為台場「彩虹橋」、橫濱「海灣大橋」後，連結東京灣上的大型橋樑。

由於臨近羽田機場，與飛機航線重疊，加上船舶通航，建造時為確保橋面須高於水面54.6公尺，高度也要控制在87.8公尺原則，而採用三角形鋼鐵結構進行組合的架橋。完工後的Tokyo Gate Bridge有別於彩虹橋及海灣大橋等懸索橋的輕柔、浪漫美感，相反地，稜角分明的結構及獨特的外觀，像似2隻對峙的大恐龍，當地人喜歡以「恐龍橋」賦稱之，作家石坂善久就稱道這座橋充滿男性剛毅之美。



若洲公園



京門大橋(一)



京門大橋(二)



京門大橋(三)



京門大橋(四)



與京門大橋合影

京門大橋的開通，大大縮短江東區與大田區的距離，加上兩端城區皆為倉儲物流中心的重鎮，因為大橋周圍不但沒有高樓層建造物，也沒有炫爛人工設施，僅有海、天空，像是360度環顧四周美景，視野極為開闊。橋面設置行人及自行車專用道，開放讓民眾可步行或單車行走。搭乘橋墩兩旁的電梯，可提供民眾直上距離水面60公尺高的橋上人行道（單程距離為1.6公里），體驗空中散步的樂趣外，感受臨視東京海灣的壯觀氣氛，欣賞東京灣美景！展現橋梁交通與休閒功能兼具之特色。



上橋面電梯



臨大橋旁若洲公園



橋面電梯出口



橋面遠眺(一)



橋面遠眺(二)



橋面遠眺(三)



橋面遠眺(四)



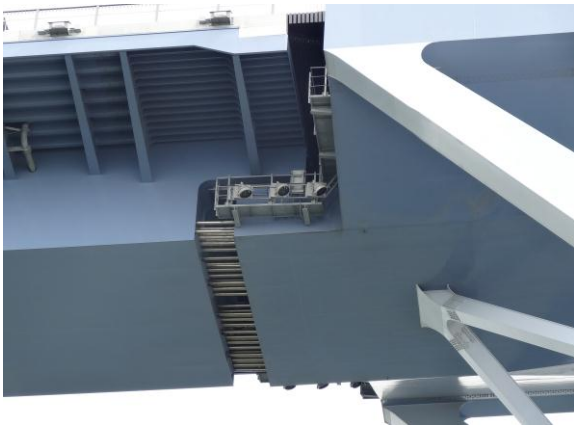
橋面人行道



下層鋼桁架



引橋剛接橋墩



附掛管路



引橋橋台及排水



鋼桁架吊裝(資料)



鋼桁架安裝於橋墩上(資料)

七、心得與建議

本次赴日本考察跨海橋，有助於進一步了解最新橋梁設計及施工技術，日本海岸線長及海灣多，因此橋梁成為串聯各地的最好方式，本次參訪的橫濱海灣大橋、東京灣彩虹大橋、京門大橋，即為串聯港區及本地之重要橋梁，各橋之建造年代不同，藉由本次參訪見識到日本的橋梁建設技術日新月異，並挑戰新的橋梁造型設計，像東京京門大橋之鋼桁架橋型式，造型獨特，且採全焊接方式施工，近觀鋼構件平順銜接，整體構架融為一體，施工技術實值得我們學習。而都市中跨河橋梁是維繫兩岸交通之命脈，台灣與日本一樣都市高度發展後，都市內跨河橋梁需求不斷提高，東京隅田川上各種不同橋型及年代的跨河橋，不但見證了橋梁工程技術的演進，也提供我們未來對橋梁型式選擇的參考。

本次參訪經由鹿島建設株式會社的經驗交流，提供了很多寶貴意見，更藉由問題之詢答及建議，使得參訪人員對金門大橋施工時海上施工環境之特性因應、施工機具設備之選擇、人員的管理及施工工法的評估等實務問題有更情楚的認知與了解，對金門大橋的施工有很大的助益。

海上橋梁施工經驗，在國內不論是公部門或民間廠商，因施工機會甚少，均在摸索學習階段，本次日本行程雖獲得鹿島建設株式會社的豐富經驗分享與交流，惟無法觀摩實際跨海大橋施工作業，仍屬遺憾，建議能多提供有類似機會讓工程同仁參訪，累積海上橋梁施工經驗。

誌謝

本次參訪感謝各級長官之支持及台灣世曦工程顧問股份有限公司派員陪同考察觀摩，更加感謝鹿島建設株式會社技術簡報與參訪導引，讓此行考察觀摩獲益良多，在此一併誌上十二萬分之感謝。