

出國報告(出國類別：出國考察)

赴新加坡參訪填海造島設施

服務機關：行政院環境保護署

姓名職稱：張副署長子敬

派赴國家：新加坡

出國時間：100 年 9 月 18 日至 21 日

報告日期：100 年 10 月

赴新加坡參訪人員名單

機關	職稱	姓名	工作項目與出國計畫相關性
行政院環境保護署	副署長	張子敬	掌管環保署各項業務。
交通部基隆港務局 臺北港分局	分局長	林昌輝	負責督導臺北港物流倉儲區填海造地計畫(1~4期)規劃。
交通部基隆港務局 臺北港工程處	副處長	林文毅	負責督導臺北港物流倉儲區填海造地計畫(1~4期)規劃。
行政院環境保護署 廢棄物管理處	副處長	賴瑩瑩	督導廢棄物管理相關業務。
行政院環境保護署	專業 研究員	洪榮勳	今(100)年新加坡來台參訪擔任接待工作。本次參訪行程擔任與新加坡聯繫窗口，負責決定行程安排。
行政院環境保護署 廢棄物管理處	科長	李宜樺	負責督導填海造島計畫相關業務。
行政院環境保護署 廢棄物管理處	科長	彭成熹	負責填海造島計畫之法令及管理架構。
行政院環境保護署 廢棄物管理處	科員	周宥節	承辦填海造島計畫相關業務。
中國鋼鐵公司 環境保護處	組長	陶錫富	具執行其他填海造陸計畫經驗。
中國鋼鐵公司 工業工程處	工程師	蔡天偕	具執行其他填海造陸計畫經驗。
中龍鋼鐵公司 環境保護處	處長	趙幼梅	具執行其他填海造陸計畫經驗。
中龍鋼鐵公司 環境保護處	工程師	蔡政男	具執行其他填海造陸計畫經驗。
中聯資源公司 資源再生事業部	協理	葉金泉	具執行其他填海造陸計畫經驗。
中興工程顧問公司 環境工程部	計畫 主任	李宜欣	負責執行填海造島評估計畫。
中興工程顧問公司 大地工程部	工程師	吳嘉賓	負責場址阻漏工程技術評估。
中興工程顧問公司 水利工程部	工程師	陳宗欽	負責場址評選及海堤工程技術評估。
中興工程顧問公司 環境工程部	工程師	林志安	負責污染防制及生態補償技術評估。

出國報告摘要

一、 出國計畫名稱：赴新加坡參訪填海造島設施

二、 出國人員：

行政院環境保護署：張子敬副署長、賴瑩瑩副處長、洪榮勳專業研究員、李宜樺科長、彭成熹科長、周宥節科員。

交通部基隆港務局臺北港分局：林昌輝分局長

交通部基隆港務局臺北港工程處：林文毅副處長

中國鋼鐵股份有限公司環保二組：陶錫富組長

中國鋼鐵股份有限公司工業工程處：蔡天偕工程師

中龍鋼鐵股份公司環境保護處：趙幼梅處長、蔡政男工程師

中聯資源公司資源再生事業部：葉金泉協理

中興工程顧問股份有限公司：李宜欣、陳宗欽、吳嘉賓、林志安

三、 出國期限：100年9月18日至100年9月21日

四、 出國行程：

活動日期	活動內容	活動地點
9/18 (星期日)	1. 啟程，由桃園機場飛往新加坡樟宜機場。 2. 參訪蒐集資料彙整與討論。	臺北—新加坡
9/19 (星期一)	1. 考察 Semakau 海上掩埋場。 2. 拜會新加坡環境暨水資源部。	新加坡
9/20 (星期二)	1. 考察大士南焚化廠。 2. 考察大士海運轉換站。	新加坡
9/21 (星期三)	返程，由新加坡樟宜機場至桃園機場。	新加坡—臺北

五、報告摘要

有鑑內陸新闢掩埋場之困難，既有垃圾掩埋場挖除再生活化亦存在延長使用期間等爭議，且所能提供之內陸掩埋容量有限，仿效與我國同為島國之日本與新加坡興建海面掩埋場，為目前本署針對國內需填埋物質最終處理之重要政策規劃方向。本署已於今年7月下旬赴日本大阪灣廣域臨海整備中心考察研習，惟經評估要完全複製日本之經驗恐有困難，故特依 署長指示，於今年9月下旬由本署 張副署長帶團前往新加坡以瞭解內部組織、營運規定及工程構想，並實地勘查 Semakau 掩埋場場內填埋作業、護岸及其防滲設施，參訪大士南焚化廠及大士海運轉換站觀看廢棄物焚化處理與船舶轉運接受情形，冀透過2次考察汲取日本、新加坡兩國之優點，作為我國推動填海造島計畫之參考。

本次赴新加坡訪視獲益良多，經參訪發現 Semakau 掩埋場係利用天然環礁為基礎，聯結 Semakau 島及錫京島建築 7 公里護岸，總面積 350 公頃，實際上，底部僅少數區域具有黏土層，大多數為海砂土，海底地質條件與台灣略同，惟新加坡位屬非地震帶及無颱風侵襲。新加坡方表示 Semakau 掩埋場僅收受未經固化穩定化飛灰及底渣(混合)、不可燃廢棄物，經通過 TCLP 標準後始可進掩埋場。Semakau 掩埋場掩埋期程可分為 1 期及 2 期，第 1 期可區分為 11 個子掩埋區 (cell)，第 2 期尚未分子區及進行掩埋，目前保持一缺口與海水相通，整個 Semakau 掩埋場約可填埋至 2045 年。部分區域經填埋完成後，已規劃為遊憩區，整體土地利用規劃尚與貿工局協商討論中。

大士南焚化廠位於新加坡本島西南側，為新加坡最新且垃圾處理量最大之焚化廠，每日約可處理 3,000 公噸之垃圾，收受 1 噸垃圾約 77 新加坡幣。囿於新加坡缺乏水資源，故該廠集塵設施採用乾式設計，具有 80~90% 集塵效率，觸媒去除戴奧辛系統採用 1998 專利設

計。大士南焚化廠每日可以發電 1,500 兆瓦電/日，20% 自用於焚化廠營運，80% 可售出。

另大士海運轉換站位於焚化廠區內，垃圾焚化後利用卡車載運傾卸至平板船，再以拖船拖運至 Semakau 掩埋場進行填埋。

六、心得與檢討

新加坡政府興建 Semakau 掩埋場作法值得我國參考，透過 2 天行程之所見所聞，心得與檢討如下：

- (一) 依據本次實地參訪新加坡及先前 7 月參訪日本國外廢棄物填海之經驗，海上填埋場得分為供土石泥填埋之「安定型」，以及供廢棄物填埋之「管控型」兩種。「安定型」主要接收玻璃屑、陶瓷屑、建築廢棄物等性質安定固體廢棄物為主，於掩埋完成後即可立即土地規劃使用。而「管控型」因接收經無害且安定、或經無害化及安定化之事業廢棄物與一般廢棄物，圍堤內側需施作側向人工阻漏層，並藉圍堤內較低水位之水壓控制，以及內水之抽除處理，控制潛在溢漏污染，必要時應施作底部防滲漏工程。
- (二) 我國與新加坡同屬開放型海域，物質擴散模式較類似，利於物質之擴散輸送；日本大阪灣則因港灣地形，屬半開放型海域，較不利於物質擴散。因此，我國對於填海造島(地)之推動，新加坡之情形可資參考。
- (三) 陪同參訪之臺北港務單位已深切瞭解本署填海造島政策之目的及其重要性，相關新生土地利用規劃、圍堤與阻漏技術等議題，可透過協商討論克服。
- (四) 陪同參訪之中鋼集團原即擬採填海方式解決其煉鋼爐渣再利用問題，若能與本署填海造島計畫相結合，得引進民間參與共創大局。

七、建議事項

- (一) 適合填海造島之填埋物質種類應以無害且安定、或經無害化及安定化之不可燃廢棄資源物、營建剩餘土石方、清淤及風災土石泥為宜。將審慎辦理先期評估及區位篩選，進行填海造島政策環境影響評估作業，以兼顧海域生態及環境安全。海上填埋場之開發將採先開發「安定型填埋場」，再開發「管控型填埋場」之「分期、分區」方式辦理。
- (二) 海底地質條件之考量及底部阻漏對策：

1. 依新加坡書面回覆及專業文獻所載，掩埋場底部具有一層黏土作為不透水層(深度最深至 10 m， $K < 10^{-8}$ cm/s)，故僅於海堤內側施作阻漏不透水布；惟參訪時場區人員稱底部地質複雜(黏土與粉土混雜)，除藉地質條件外，堤外較高水壓亦得協助阻擋滲漏。
2. 另依據日本經驗，若填埋廢棄物必須選擇具一定厚度及不透水係數之場址，以防止底部垂直滲漏。
3. 惟經初步查閱我國近海沉積相分布及潛在場址地區之既有地質鑽探資料，海底地質以沉泥質細砂為主，無防滲功能。
4. 考量我國接收廢棄物需求緊迫，得參考新加坡先於場內施作分隔堤作法，進行較小面積分區乾式作業(先抽乾內水，再一併施作底部及側向阻水層之「管控型」掩埋區)，場內其他區域則得同時進行「安定型」作業。
5. 因日本及新加坡皆未具底部阻漏工程之實際經驗，上述對策宜先進行模型及模場試驗，確認工法程序及品質成效。

- (二) 海堤工程條件之建議：

1. 海堤型式須依據所在地地質、水深、海象等先天條件，以

及安全、功能及經濟等因素妥適選用。

2. 目前國內多採「斜坡堤」及「沉箱堤」，並已累積豐富設計及施工經驗。另為配合生態工法之推展，於斜坡堤海側得提供生態棲地，於沉箱堤海側艙亦可加填塊石(或消波塊)形成生態孔隙，並於消波塊表面增設及槽溝，以創造附著類水生物棲息環境。我國位於地震帶及颱風行經海域，需預防越波及漂砂問題，亦需加強圍堤強度及釋壓功能。
3. 依據國內近年圍堤造地工程經驗，海堤堤後常有局部性之回填料流失現象。考量未來填埋廢棄物需求，建議海堤堤後增設洩壓區，並於側面鋪設不透布及濾布，可有效地避免污染物漏(滲)出。

目錄

一、參訪目的	1
二、參訪過程(地點)說明.....	2
三、參訪內容重點整理	8
(一)Semakau 掩埋場介紹.....	8
(二)立法與政府權責分工	10
(三)營運規定	13
(四)建設營運經費	17
(五)擇地與建設重要考量因素	18
(六)新生地再利用及規劃.....	20
四、參訪心得與檢討	21
五、建議事項	22

一、參訪目的

近年來，環保署於廢棄物管理與資源回收再利用政策上，積極促進資源回收再利用，惟仍有不適燃廢棄資源物(如不適燃事業廢棄物、垃圾焚化廠底渣及飛灰固化物、營建廢棄物再利用後剩餘物、營建剩餘土方等)填埋需求。然而，營運中公有及民營掩埋場掩埋容量即將飽和；覓址新闢掩埋場實屬不易，多有民眾抗爭與爭議，無法順利設置；另除廢棄物外，復因受氣候變遷影響風災頻傳，災區清理及疏浚清淤土石泥數量更為驚人，若不另覓適當地點作安定處置，將形成下次災害來襲時之隱憂。爰此，為綜合解決不適燃廢棄物、營建剩餘土石、風災清淤土石泥等最終處置問題，本署於去年 12 月公告「需以填埋方式處理之物質種類及數量評估、相關填埋設施政策方向規劃計畫」，並由中興工程顧問有限公司得標承攬，以評估需以填埋方式處理物質之種類及數量外，並妥善規劃填埋設施政策方向。

有鑑內陸新闢掩埋場之困難，既有垃圾掩埋場挖除再生活化亦存在延長使用期間等爭議，且所能提供之內陸掩埋容量有限。參考與我國同為島國之日本與新加坡，在離岸一定距離外，興建海上處分場，其掩埋容積使用期限長達 20~30 年，可使需填埋物質之處理長治久安，並將其視為循環資源予以有效運用，創造新生地，落實國內資源永續循環利用，為目前本署針對國內需填埋物質最終處理之重要政策規劃方向。

本署已於今(100)年 7 月 24 日至 28 日，由 張副署長率團前往日本大阪灣廣域臨海環境整備中心(亦稱大阪灣鳳凰中心)研習，並訪視神戶接收基地與海上處分場(大阪沖、尼崎沖及神戶沖)，惟經評估考量立法、營運模式及自然環境等條件與我國稍有差異，要完全複製日本之經驗恐有困難。故於 8 月 3 日本署向 署長簡報考察日本大阪灣鳳凰計畫心得，會後 署長特指示另安排新加坡考察之行程，冀參考、綜合分析日本與新加坡等國之實際興建規劃、操作營運之經驗，歸納適合我國條件，且符合廢棄物填埋

安全之設施。

計畫執行期間，本署與中興公司從網路與書籍蒐集相關廢棄物填海造陸資料，亦透過電郵向新加坡國家環境局(National Environment Agency)，請教相關問題。惟仍有相關法令、組織營運及工程技術等問題不甚清楚，且在國家環境局盛情邀約下，欲透過現地勘查與綜合討論等方式分享、交換廢棄物管理之經驗與心得，本署特由 張副署長組團，團員包括廢管處賴副處長等 5 人與中興公司計畫主持人李宜欣等 4 人，並邀請基隆港務局臺北港分局長 林分局長等 2 人、中鋼集團(中國鋼鐵/中龍鋼鐵/中聯資源)趙處長等 5 人，一同前往新加坡訪視 Semakau 掩埋場、大士南焚化廠(Tuas South Incineration Plant)及大士海運轉換站(Tuas Marine Transfer Station)，冀能汲取新加坡寶貴經驗，為需填埋物質填海造陸政策確立明確方向，以使資源生生不息，循環再利用，創造更大資源之邊際效益。

二、參訪過程(地點)說明

有關本次參訪行程詳表 2-1 所示，並說明如下：

(一) 9 月 19 日(星期一)上午

1. Semakau 掩埋場

1995 年新加坡政府開始動工興建 Semakau 島岸外垃圾埋置場，並在 1999 年 4 月 1 日正式啓用。Semakau 島總面積 350 公頃，位於新加坡本島以南 8 公里的一個島嶼(詳圖 2-1)，該島係由舊 Semakau 島和錫京島(Pulau Sakeng)銜接組成，主要收集新加坡 4 座垃圾焚化場之灰渣進行填海造地，焚化廠與 Semakau 島相對位置圖詳圖 2-2 所示。

參訪當天國家環境局 許劍生副局長親自接待本團，包含局內多位主管與專員亦全程參與討論，與我方分享經驗與心得(詳圖 2-3)。會議期間 許副局長針對新加坡 Semakau 掩埋場埋事業之

環境對策進行簡報，而本署亦介紹台灣廢棄物清理現況及推動填海造島內容。會後即前往現地實際勘察，如圖 2-4。

(二) 9 月 20 日(星期二)上午

1. 大士南焚化廠(Tuas South Incineration Plant)

大士南焚化廠是新加坡的第 4 座垃圾焚化廠，建造工程始於 1996 年 6 月，於 2000 年 6 月完工，總共耗資新幣 8.9 億，全廠佔地 10.5 公頃，位於新加坡西部的填土地。相關技術數據如下：

- (1) 焚化處理量：3000 噸/日。
- (2) 焚化爐：6 座。
- (3) 發電量：80 MW(為我國八里垃圾焚化廠之 2.2 倍)，其中 20%之電力係供焚化廠本身使用，其餘 80%電力為提供給電力市場銷售。
- (4) 發電電壓：10.5 千伏特。
- (5) 底渣及飛灰量共約 540 公噸/日。
- (6) 處理戴奧辛加裝觸媒濾袋(臺灣尚屬於測試階段)。

當天由廠長親自接待本團，並包含廠區多位技術主管與專員亦均全程參與討論，與我方分享經驗與心得，並參觀垃圾焚化處理流程(詳圖 2-5)。

表 2-1 本次參訪行程

日期	時間	行程
9/18 (日)	啓程	1. 06:00-06:30 由旅行社派車各別接送前往中正機場。 2. 中正機場至新加坡(華航 CI753 08:35/13:15)。
9/19 (一)	9:00	前往巴西班讓渡輪碼頭(Pasir Panjang Ferry Terminal)，乘船前往 Semakau 掩埋場。
	9:30	1. 拜會 Semakau 掩埋計畫負責人。 2. 新加坡固體廢棄物管理體系及 Semakau 掩埋計畫介紹(新加坡國家環境局)。 3. 台灣推動廢棄物填海造島計畫介紹(本署)。 4. 致贈紀念品、合影紀念。
	10:30	Semakau 掩埋場現地參訪。
	11:30	問題討論。
	12:00	離開 Semakau 掩埋場。
	12:30	抵達巴西班讓渡輪碼頭。
	12:30-13:30	午餐。
	14:00-17:00	拜會新加坡環境暨水資源部。
9/20 (二)	9:00	抵達大士南焚化廠(Tuas South Incineration Plant)。
	9:05	1. 拜會廠區負責人。 2. 大士南焚化廠簡介(大士南焚化廠)。 3. 問題討論。 4. 致贈紀念品、合影紀念。
	10:00	焚化廠區現地參訪。
	10:45	大士海運轉換站(Tuas Marine Transfer Station)現地參訪。
	11:30	離開焚化廠與轉換站。
	12:00-13:00	午餐。
	13:30-	第 1 次參訪蒐集資料彙整與討論。
9/21 (三)	09:00-11:00	廢棄物填海造島研商會議： 1. 第 2 次參訪蒐集資料彙整與討論。 2. 預擬主要參訪心得與結論。
	11:30	出發至樟宜機場
	返程	由旅行社派車接送前往機場 樟宜機場至台灣(華航 CI754 14:15/19:00)



圖 2-1 新加坡 Semakau 島空照圖



圖 2-2 新加坡焚化廠與 Semakau 島相對位置圖



(1) 許劍生副局長親自接待，由環境局人員 (2) 本署介紹台灣廢棄物清理現況及推動填海造島計畫。



(3) 與會人士踴躍提出問題並進行討論。(4) 張副署長致感謝詞。

圖 2-3 新加坡固體廢棄物管理體系簡報與會議



(1) 環境局人員於搭船時對計畫初步講解介紹。(2) Semakau 掩埋場場內廢棄物接收站。



(3) 當地操作人員於現勘時進行講解介紹。(4) 接收站內作業情形。



(5) Semakau 掩埋場場內護岸實景。(6) 場內設置水質觀測井監測滲出情形。

圖 2-4 Semakau 掩埋場現地勘查



(1) 焚化廠空拍實景。



(2) 廠區人員介紹焚化廠處理流程。



(3) 垃圾傾卸平台。



(4) 操作人員解釋焚化廠操作情形。



(5) 操作人員於中央控制室進行解說。



(6) 焚化產生之灰渣貯存區。

圖 2-5 參訪大士南焚化廠

2. 大士海運轉換站(Tuas Marine Transfer Station)

位於新加坡本島之西南側，大士南焚化廠區內。垃圾焚化廠其焚化後所產生的灰渣與不可燃廢棄物(如事業產生之污泥及灰渣等)，經收集後運送至大士海轉換站，再由推式拖船與平底船運至 Semakau 島進行填埋作業。轉運站距離 Semakau 掩埋場海運距離有 25 km 遠，運送全程採密閉式運輸(艙口封閉)，參訪照片詳

圖 2-6 所示。



(1) 焚化廠與轉運站相對位置。



(2) 大士海運轉換站廠區實景。



(3) 轉運站廠區內進行討論。



(4) 傾卸廢棄物前僅檢核單據。



(5) 卡車載運廢棄物傾卸於平板船，再船



(6) 現地觀察傾卸廢棄物種類複雜，除不可燃廢棄物，尚有廢木材塑膠等。

圖 2-6 參訪大士海運轉換站

三、參訪內容重點整理

(一) Semakau 掩埋場介紹

新加坡西臨麻六甲海峽的東南側，南臨新加坡海峽的北側，無颱風侵襲且非屬地震帶，氣候屬於熱帶雨林氣候，年平均氣溫 24~27°C，每年 10 月至次年 3 月為多雨期，全年平均降雨量 2400 mm；潮汐屬全日

潮，平均潮差 3.0 m。自上個世紀 60 年代獨立以來，因高速城市化與經濟的蓬勃發展，垃圾產量亦銳增。據統計，在上世紀 70 年代，新加坡的垃圾日產量為 1,200 公噸，迄今已增加到每日 7,600 公噸，作為一個人口密度很高的城市國家，新加坡垃圾日益增多，勢必影響人們的生活與健康。為此，1995 年新加坡政府開始動工興建 Semakau 島岸外垃圾掩埋場，並在 1999 年 4 月 1 日正式啓用。

Semakau 島總面積 350 公頃，位於新加坡本島以南 8 公里的島嶼(詳圖 3-1)，該島係由舊 Semakau 島和錫京島(Pulau Sakeng)銜接組成(即利用既有天然環礁為基礎，聯結舊 Semakau 島和錫京島建築 7 公里護岸)，未興建掩埋場前，作為新加坡港浚渫港區及航道之土方棄置。而其工程主要利用填築砂土作為圍堤堤心材料，圍堤側面鋪設不透水層和海洋粘土層作阻隔，確保垃圾滲出液或有害物質不會滲漏，可避免周遭海水受到廢棄物污染；底部地層按新加坡書面回覆及文獻所載(地工織物研討會)，以粉土及黏土作為不透水層(深度最深至 10 m， $K < 10^{-8}$ cm/s)，惟參訪時廠區人員稱底部地質複雜(黏土與粉土混雜)。

Semakau 掩埋場總共分成兩期工程(配置詳圖 3-2)，第一期工程規劃有 11 座獨立掩埋作業區(cells)，第二期尚未分子區及進行填埋作業，僅保持一缺口與外海海水相通(詳圖 3-3 所示)，兩期工程總容量為 6,300 萬 m^3 ，而目前已填埋率為 9.7%。目前每天接收 2,200 公噸，包含 4 座焚化廠之 1,700 公噸焚化灰渣及 500 公噸不可燃廢棄物，而不可燃廢棄物中，85% 為污泥及電廠、製造工廠及工業污染防制設備產生之灰渣，而剩下 15% 為營造業及其他工業活動產生之混合廢棄物，上述填埋物質經收集後運送至大士南海運轉換站(相對位置圖如 3-4 所示)，再由拖船與平底駁船運至 Semakau 島，接著以卡車接駁將灰渣傾卸至掩埋場，待填滿後再覆蓋一層土壤作為植生用。

掩埋場內設置有污水處理設施，但主要作為垃圾暫置場之廢水處

理，迄今尚未操作使用，其它附屬設施包括碼頭、發電機和維修設備等，方可確保掩埋場獨自操作營運。另 Semakau 島和錫京島間第二期圍堤工程規劃預留約 160 m 缺口，且於各獨立掩埋作業區(cells)之隔堤內預埋管路連通，使海水能夠進出迴流，掩埋作業區進行掩埋作業時，操作人員會先封閉預埋管路，並將海水抽乾後再進行填埋作業(現勘時，現場操作人員表示，作業區並沒辦法完全抽乾海水，仍有少部分殘留)，這種分區填埋既能有效管理，又能節約資金，實屬非常科學之做法。

(二) 立法與政府權責分工

新加坡並無為 Semakau 掩埋計畫特別立法或成立任何單位，僅由既有政府單位環境及水資源部(其組織架構詳圖 3-5 所示)下轄之國家環境局(National Environment Agency)，負責整體統籌、規劃、後續監督營運及管理。其中，後續監督營運及管理之部份，係由國家環境局委託廠商代操作營運，環境局則負責監督營運及管理，其權責劃分類似我國公有民營焚化廠。



圖 3-1 新加坡 Semakau 島空照圖

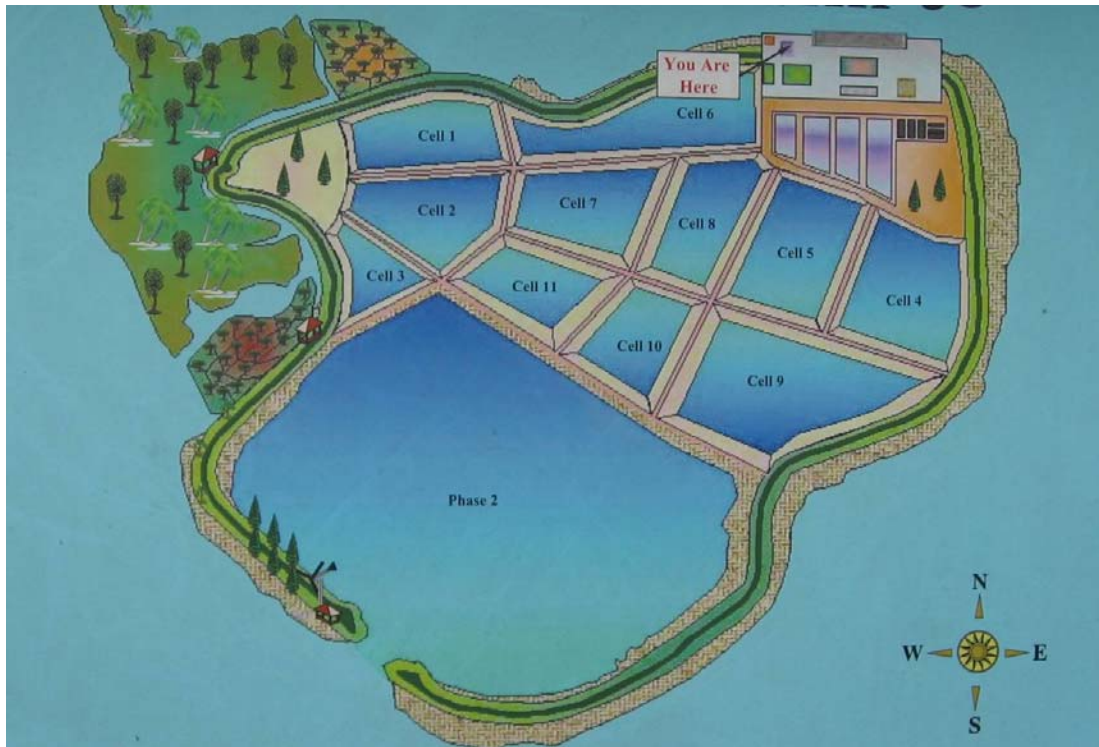


圖 3-2 新加坡 Semakau 掩埋場規劃配置圖



圖 3-3 新加坡 Semakau 掩埋場缺口情形

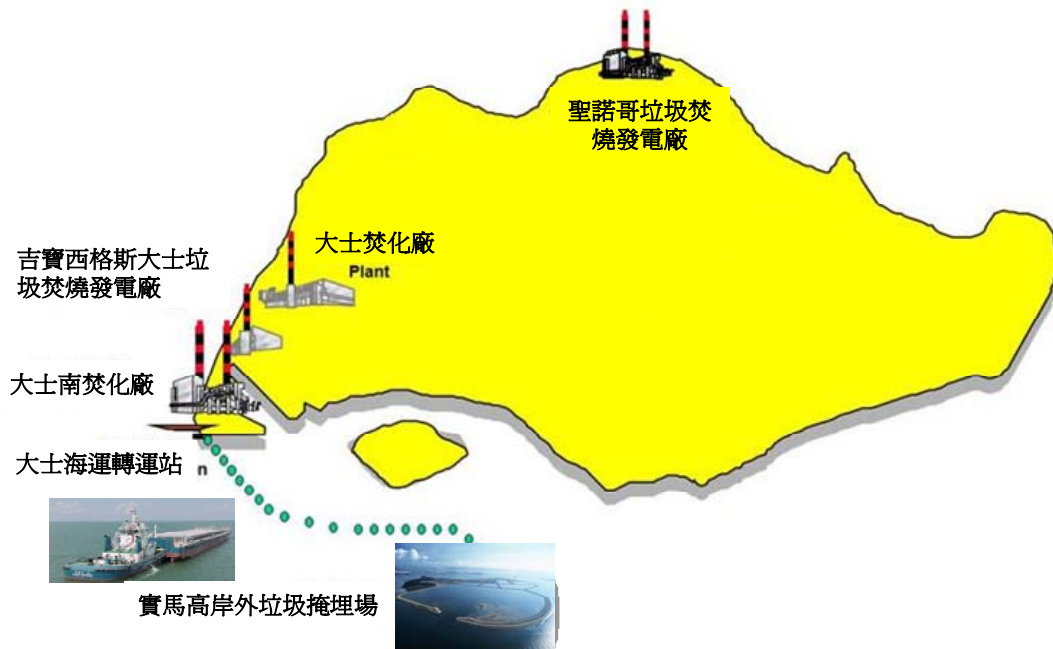


圖 3-4 新加坡焚化廠與 Semakau 島相對位置圖

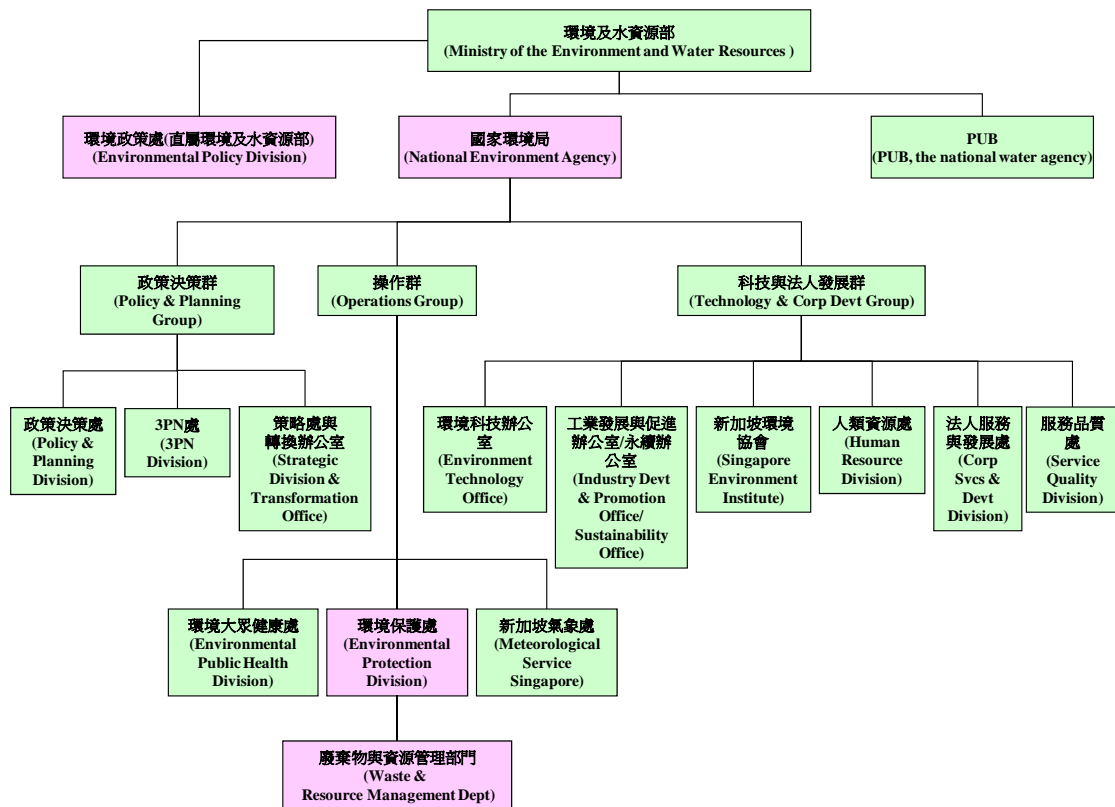


圖 3-5 新加坡環境及水資源部組織架構圖

(三) 營運規定

有關 Semakau 掩埋計畫相關營運管理規定就圖 3-6 之各項程序進行說明，初步可區分為「符合進場標準」、「基地接收(受)」、「船舶轉運」及「海上填埋作業」。

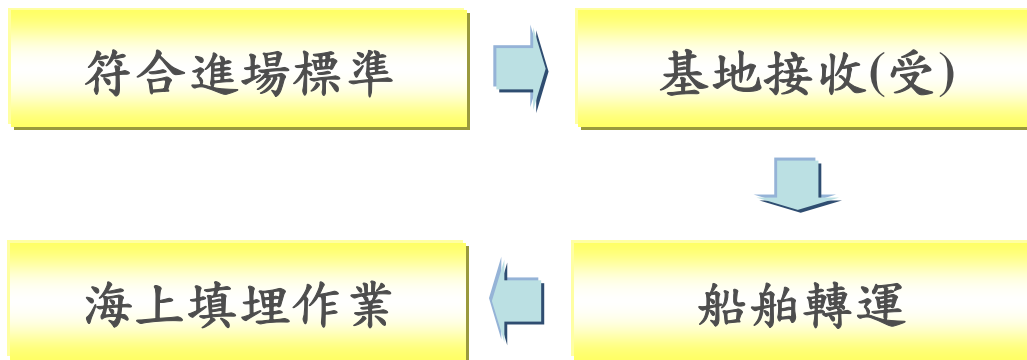


圖 3-6 新加坡 Semakau 掩埋場相關營運流程

1. 符合進場標準及基地接收(受)

(1) 進場種類以垃圾焚化灰渣及不可燃廢棄物(約 85% 為製造業、電廠與工業廢棄物處理工廠所產生之污泥與灰；15% 為營造業、海事及其他工業活動所產生之多種類、不可燃且無法回收之廢棄物)為填埋對象，焚化灰渣量每日約 1,700 公噸，而不可燃廢棄物每日約 500 公噸。其中，焚化灰渣係為飛灰與底渣之混合，未經處理(但符合 TCLP 溶出標準)即可進場填埋。

(2) 所有進場物質須通過新加坡之 TCLP 毒性溶出標準(新方 TCLP 毒性溶出標準綜合參考多國規定，與我國 TCLP 毒性溶出標準相比，多了氟、鐵、錳、鎳、鋅、總酚、總氰等項目，詳表 3-1 所示)：

A. 不適燃廢棄物進場申請第一次會進行定性檢測(如：臭味、顏色、外觀等)，之後則採抽測方式進行。

B. 無目視檢查站，僅地磅秤重設施(詳圖 3-7)。

C. 焚化廠轉運灰渣由焚化廠定期(3 個月 1 次)進行 TCLP 檢測。

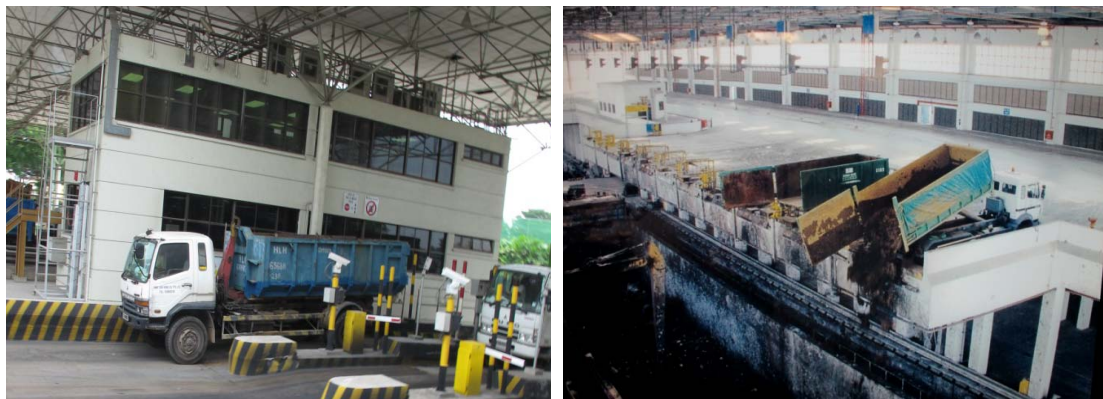
表 3-1 新加坡 TCLP 毒性溶出標準

單位：mg/L

污染物	最大含量	參考來源	污染物	最大含量	參考來源
砷	5	(1)、(2)	鉛	5	(1)、(2)
鋇	100	(1)、(2)	錳	50	(2)
鎘	1	(1)、(2)	汞	0.2	(1)
鉻	5	(1)、(2)	鎳	5	
銅	100	(2)	總酚	0.2	(2)
氰化物	10	(3)	硒	1	(1)、(2)
氟化物	150	(3)	銀	5	(1)
鐵	100	(2)	鋅	100	(2)

新加坡 TCLP 毒性溶出標準參考資料來源：

- (1) U.S. Code of Federal Regulations (CFR), Title 40, Chapter 1, Part 261 “Identification and Listing of Hazardous Waste”.
- (2) Victorian E.P.A. Industrial Waste Strategy Management Paper WMI/86, “Disposal of Immobilised Hazardous Wastes”, 1986.
- (3) NSW SPCC Chemical Control Order on Aluminium Smelter Waste, February 1986.



(1) 廢棄物進廠須先經地磅過磅。(2) 再直接傾倒在運輸船舶。

圖 3-7 Semakau 掩埋場廢棄物接收狀況

(3) 不分廢棄物種類，進場處理費用為每公噸新幣 77 元(約台幣 1,848 元/公噸)，另由焚化廠轉運之灰渣，因垃圾進焚化廠時已收取垃圾處理費用，故不再額外收費(焚化廠垃圾處理費用除聖諾哥焚化廠民營化，每公噸收費新幣 81 元(約新台幣 1,944 元)外，其餘焚化廠收費皆為每公噸新幣 77 元(約新台幣 1,848 元)。

2. 船舶運輸

通過檢查之廢棄物，依靠運輸船載運至填埋作業區，詳細操作流程詳圖 3-8 所示。



圖 3-8 Semakau 掩埋場廢棄物船舶轉運作業流程

3. 海上填埋作業

(1) 承前述，Semakau 掩埋場已區隔 11 個獨立作業區(cells)，填埋前會先將區內海水抽乾(現勘時，現場操作人員表示，作業區並沒辦法完全抽乾海水，仍有少部分殘留)，

再以卡車直接傾倒進行填埋，填埋作業完成後，會於上方進行覆土，並由推土機碾平夯實，詳細操作情況詳圖 3-9 所示。

(2) Semakau 掩埋場於其場址附近設置多處監測井(詳圖 3-10)，且每月定期進行海水水質採樣監測(項目及排出標準詳表 3-2)，以即時掌握、監控污染可能滲出情形。



(1) 傾倒填埋作業情況。



(2) 推土機碾平夯實作業情況。

圖 3-9 Semakau 掩埋場海上填埋作業狀況



圖 3-10 新加坡 Semakau 掩埋場附近海水監測井

表 3-2 新加坡 Semakau 掩埋場海水監測項目及排出標準

檢測方法：APHA-AWWA-WEF, 21st edition 2005			
監測項目	排出標準	監測項目	排出標準
溫度(°C)	45	Cr(mg/L)	1
透視度	-	Cu(mg/L)	0.1
pH 值	6-9	Pb(mg/L)	0.1
化學需氧量(ppm)	100	Hg(mg/L)	0.05
SS(ppm)	50	Ni(mg/L)	1
濁度(NTU)	-	Se(mg/L)	0.5
塩度(ppt)	-	Ag(mg/L)	0.1
導電度(mS/cm)	-	Zn(mg/L)	1
溶氧(ppm)	-	總金屬含量(mg/L)	1
Cd(mg/L)	0.1		

(四) 建設營運經費

1. 建設經費

根據新方提供資料，Semakau 掩埋場(含護岸及場內設施)及海運轉換站，總計約 5.8 億新幣，折合新台幣為 139.2 億元(詳表 3-3 所示)，整體垃圾處理成本為新台幣 442 元/立方公尺(假設第 1 期實際容積佔總設計容量 50%)。

2. 營運費用

Semakau 掩埋場主要營運費用為運輸船舶之操作、維護及人力，每年約 2,000~2,200 萬新幣。

3. Semakau 掩埋計畫設備

Semakau 掩埋計畫(含 Semakau 掩埋場及轉運站)所有設備包含傳輸廢棄物使用之駁船(barge)與拖船(pushertug)、搬運廢棄物使用之怪手(spreading excavator)、推土機(unloading excavator)及傾卸大卡車(wheel loader)、填埋作業使用之夯土機(compact)與推土機(bulldozer)，詳細明細與數量詳表 3-4 所示。

表 3-3 Semakau 掩埋場及轉運站主要設施建設經費

項目	承包商	金額 (新幣)	金額 (台幣)
SL 土木營建成本	1. Toa Corportion – Sum Cheong Piling Pte Ltd (Joint Venture)	3.8 億	91.2 億
TMTS 土木營建成本	1. Penta-Ocean Construction Company Ltd 2. Koon Construction & Transport Co. Pte Ltd	0.8 億	19.2 億
SL 與 TMTS 機電成本	1. Mitsubishi Corporation	0.3 億	7.2 億
SL 相關設備與運輸車輛	1. Mitsubishi Corporation and UMW Equipment Systems Pte Ltd	0.2 億	4.8 億
運輸船舶	1. Labroy Marine Ltd	0.4 億	9.6 億
SL 傳輸大樓與防坡堤建造	1. Antara Koh Pte Ltd	0.3 億	7.2 億
合計		5.8 億	139.2 億

說明：

- (1) SL 表示掩埋場；TMTS 表示轉運站。
- (2) 上列建造成本僅含第 1 期資料，第 2 期仍處招標階段。

表 3-4 Semakau 掩埋計畫設備明細

功用	設備	數量
傳輸廢棄物	提供 3,500 立方米承載力駁船(barge)	6
	拖船(pushertug)	3
搬運廢棄物	怪手(spreading excavator)	2
	怪手(unloading excavator)	4
	推土機(wheel loader)	3
	傾卸大卡車(dump truck)	10
填埋作業	夯土機(compacto)	4
	推土機(bulldozer)	5

(五) 擇地與建設重要考量因素

1. 選址考量因素

- (1) 以連接舊 Semakau 島與錫京島為考量，可減少部分建堤成本，並妥善利用兩島為海事工程機具與材料基地，採

中隔堤方式逐步分區填埋廢棄物。

- (2) 利用既有錫金島興建接收碼頭、管理室、儲油槽及廢水處理場等設施。
- (3) 按新方書面回覆，未將水深、土地利用及不透水性地層等條件，納入選址考量，僅選擇對於海洋環境及船舶運輸衝擊較少之區域。

2. 技術條件及因應對策

(1) 海堤工程技術

- A. 由於海象條件佳且非處地震帶上，其主要護岸採沙心堤型式，外層再吊排花崗岩塊石保護，設置詳圖 3-11 所示。

(2) 阻漏工程技術

- A. 填埋場側之海堤坡面全面鋪設單層滲透性極低、比重大於水之 EIA-RCF (Ethylene Interpolymer alloy) 防滲膜，並延長至填埋場底部，上方再覆以 1 m 厚黏土層壓重(濕式法施工)，作為側面防滲措施(詳圖 3-11)。
- B. 與底部低滲透性黏土層組成封閉區域，防止污染流出堤外海域。除藉地質條件外，堤外較高水壓亦得協助阻擋滲漏。

3. 環境影響措施

- (1) Semakau 掩埋場有一區土地規劃為可燃垃圾暫置場，供焚化廠停爐時暫置需求。
- (2) 而整體填埋區並未規劃污水處理設施。現場設有之污水處理設施，係為處理暫置場廢水，惟迄今尚未操作。

4. 生態考量措施

- (1) Semakau 掩埋場場址附近栽植紅樹林(部分天然，部份人

工重新栽植，約 13.6 公頃，詳圖 3-12 所示)、劃分私人人工魚苗培育空間。

(2) 提供專家學者進行生態環境研究之空間，並接受旅遊休憩、釣魚之申請(詳圖 3-12)。

(六) 新生土地再利用及規劃

目前為遊憩區，2045 年作業完成之土地，目前暫無明確規劃，尙處於與貿工局協商規劃當中，現場人員僅表示若確定上層土地要興建建築物，則將先做地質改良，再行利用。

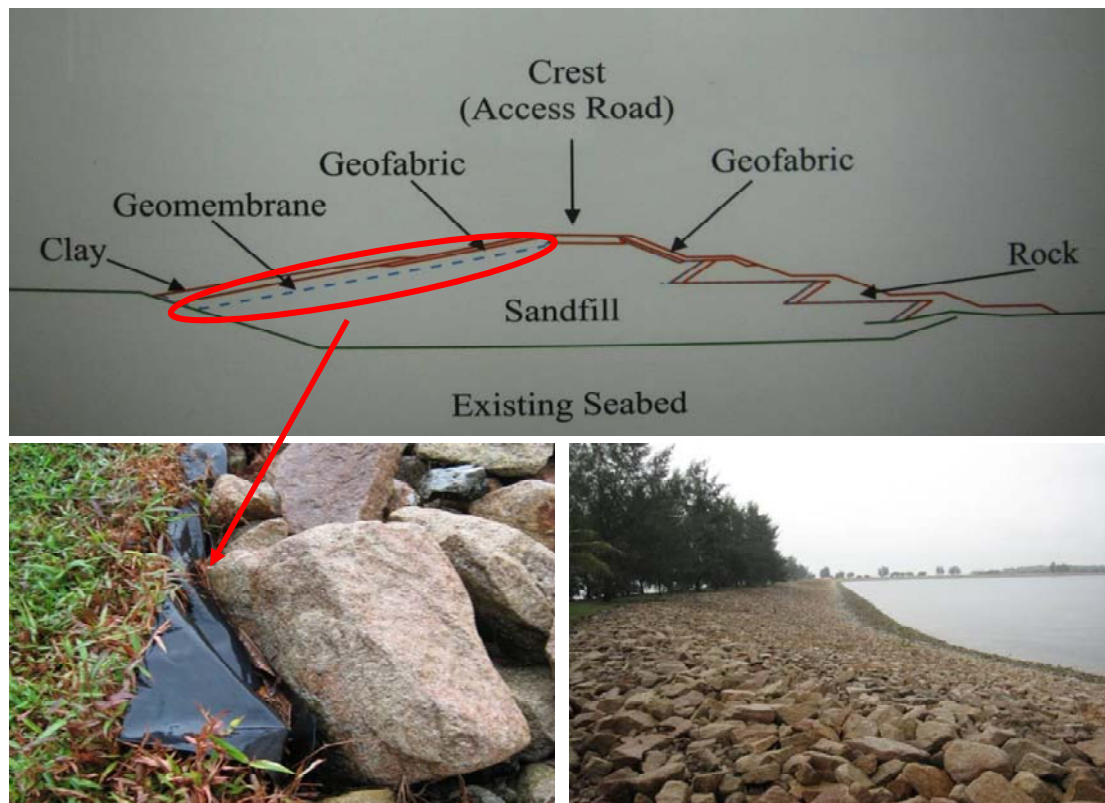


圖 3-11 斜坡式沙心堤護岸斷面示意與防滲膜



圖 3-12 新加坡 Semakau 掩埋場生態考量措施

四、參訪心得與檢討

新加坡政府興建 Semakau 掩埋場作法值得我國參考，透過 2 天行程之所見所聞，心得與檢討如下：

- (一) 依據本次實地參訪新加坡及先前 7 月參訪日本國外廢棄物填海之經驗，海上填埋場得分為供土石泥填埋之「安定型」，以及供廢棄物填埋之「管控型」兩種。「安定型」主要接收玻璃屑、陶瓷屑、建築廢棄物等性質安定固體廢棄物為主，於掩埋完成後即可立即土地規劃使用。而「管控型」因接收經無害且安定、或經無害化及安定化之事業廢棄物與一般廢棄物，圍堤內側需施作側向人工阻漏層，並藉圍堤內較低水位之水壓控制，以及內水之抽除處理，控制潛在溢漏污染，必要時應施作底部防滲漏工程。
- (二) 我國與新加坡同屬開放型海域，物質擴散模式較類似，利於物質之擴

散輸送；日本大阪灣則因港灣地形，屬半開放型海域，較不利於物質擴散。因此，我國對於填海造島(地)之推動，新加坡之情形可茲參考。

- (三) 陪同參訪之臺北港務單位已深切瞭解本署填海造島政策之目的及其重要性，相關新生土地利用規劃、圍堤與阻漏技術等議題，可透過協商討論克服。
- (四) 陪同參訪之中鋼集團原即擬採填海方式解決其煉鋼爐渣再利用問題，若能與本署填海造島計畫相結合，得引進民間參與共創大局。
- (五) 本署已於新加坡參訪回國後之 10 月 3 日由賴副處長帶隊向署長進行面報，其中包括新加坡 Semakau 掩埋場計畫、日本大阪灣鳳凰計畫及我國推動填海造島計畫之基本資料、立法、政府權責分工、營運方式、進場種類及規定、建設經費、處理費用、填埋方式、環境監測、環境影響措施、生態考量措施、新生土地再利用等面向之比較評析。

五、建議事項

- (一) 適合填海造島之填埋物質種類應以無害且安定、或經無害化及安定化之不可燃廢棄資源物、營建剩餘土石方、清淤及風災土石泥為宜。將審慎辦理先期評估及區位篩選，進行填海造島政策環境影響評估作業，以兼顧海域生態及環境安全。海上填埋場之開發將採先開發「安定型填埋場」，再開發「管控型填埋場」之「分期、分區」方式辦理。
- (二) 海底地質條件之考量及底部阻漏對策：
 - 1. 依新加坡書面回覆及專業文獻所載，掩埋場底部具有一層黏土作為不透水層(深度最深至 10 m， $K < 10^{-8}$ cm/s)，故僅於海堤內側施作阻漏不透水布；惟參訪時場區人員稱底部地質複雜(黏土與粉土混雜)，除藉地質條件外，堤外較高水壓亦得協助阻擋滲漏。
 - 2. 另依據日本經驗，若填埋廢棄物必須選擇具一定厚度

及不透水係數之場址，以防止底部垂直滲漏。

3. 惟經初步查閱我國近海沉積相分布及潛在場址地區之既有地質鑽探資料，海底地質以沉泥質細砂為主，無防滲功能。
4. 考量我國接收廢棄物需求緊迫，得參考新加坡先於場內施作分隔堤作法，進行較小面積分區乾式作業(先抽乾內水，再一併施作底部及側向阻水層之「管控型」掩埋區)，場內其他區域則得同時進行「安定型」作業。
5. 因日本及新加坡皆未具底部阻漏工程之實際經驗，上述對策宜先進行模型及模場試驗，確認工法程序及品質成效。

(二) 海堤工程條件之建議：

1. 海堤型式須依據所在地地質、水深、海象等先天條件，以及安全、功能及經濟等因素妥適選用。
2. 目前國內多採「斜坡堤」及「沉箱堤」，並已累積豐富設計及施工經驗。另為配合生態工法之推展，於斜坡堤海側得提供生態棲地，於沉箱堤海側艙亦可加填塊石(或消波塊)形成生態孔隙，並於消波塊表面增設及槽溝，以創造附著類水生物棲息環境。我國位於地震帶及颱風行經海域，需預防越波及漂砂問題，亦需加強圍堤強度及釋壓功能。
3. 依據國內近年圍堤造地工程經驗，海堤堤後常有局部性之回填料流失現象。考量未來填埋廢棄物需求，建議海堤堤後增設洩壓區，並於側面鋪設不透布及濾布，可有效地避免污染物漏(滲)出。