

壹、前言

一、緣起與目的

依據調查報告，全台40座主要水庫，歷年淤積累積總數量達4億934萬 m^3 ，相當於一個翡翠水庫的總蓄水量(4億600萬 m^3)，而且總淤積量仍以每年1,460萬 m^3 的數量持續增加，已嚴重影響水庫的蓄水功能。又台灣地區港灣浚渫產生的淤泥都採海洋棄置(海拋)作為最終處置方式。為了保護海洋環境，行政院環保署已嚴格要求各港灣逐年降低淤泥的海洋棄置數量，浚渫物回收再利用已是未來的必然趨勢。水庫及部分港灣淤積物乃上游集水區的岩石經過風化、侵蝕、搬運、沉積等自然作用而形成，除了顆粒尺寸較細以外，其物理性質、化學成分及礦物組成與天然的砂石並無明顯差異。這些自然生成、無毒、無害、安定的礦物質以及港灣淤砂等，不應被視為「廢棄物」而採用最終掩埋或直接拋棄(如海拋)的方式處理。事實上，水庫、港灣淤積泥砂為具有回收再利用價值的「資源」，應加以回收再生及推廣利用。如此則不但可達到增加水庫蓄水量、延長水庫港灣壽命的目的，而且可避免因任意傾倒淤泥而造成環境二次污染問題，同時淤泥的再生利用可替代部分天然土石資源的開發，大大減低對生態環境的破壞，兼收環境、生態、經濟及社會等多重效益。如何妥善加以回收處理及再利用，成為當前主管機關必須立即因應的嚴肅課題。

二、研修人員

服務機關	職 稱	姓 名
經濟部(礦業司)	技正	謝國正
經濟部礦務局	組長	許進忠
內政部營建署	科長	張德偉
行政院環境保護署	助理環境技術師	呂正期

三、研習行程：

日順	日期	行程	住宿地
1	8/20（日）	來日	東京
2	8/21（一）	始業式、課程紹介	東京
3	8/22（二）	太平洋ソイル	東京
4	8/23（三）	国土交通省	東京
5	8/24（四）	東京都廳	東京
6	8/25（五）	東京都廳	東京
7	8/26（六）	資料整理	東京
8	8/27（日）	移動	大阪
9	8/28（一）	鴻池組	大阪
10	8/29（二）	太平洋マテリアル	金沢
11	8/30（三）	金沢大学センター	金沢
12	8/31（四）	石川縣工業試験場	東京
13	9/ 1（五）	国土交通省、課業検討	東京
14	9/ 2（六）	返國	

貳、研修內容

一、日本營建剩餘土石方處理機制

日本工程產生土石方稱之為發生土，發生土分為建設發生土及建設污泥；前者包括一般土質及浚渫土，一般土質依其承載力概分四類，第 1 種建設發生土包括礫、砂；第 2 至 4 種建設發生土則以承載力 800、400、200kN/m²為區隔；浚渫土則又區分為泥土（承載力未滿 200 kN/m²）及非泥土（如圖 1）。至於建設污泥，為具污染性質之含水土，屬事業廢棄物之一種，依廢棄物相關法令處理。建設發生土相當於我國營建剩餘土石方，其舊稱建設殘土，後將名稱修正為建設發生土。

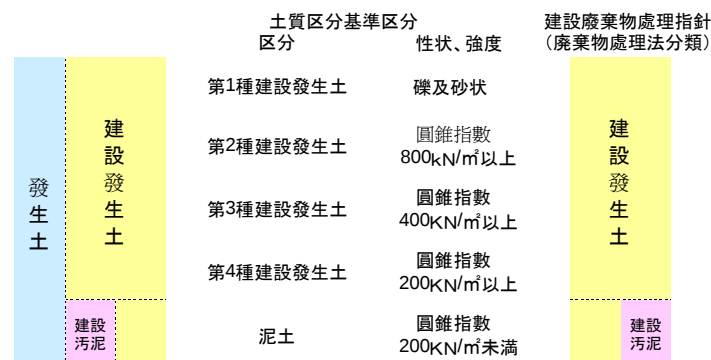


圖 1 日本發生土總類及強度定義

日本建設發生土之管理體系，尚無專法，其管理係制定「建設發生土有效利用行動計畫」「發生土利用基準」等政策據以推動實施。另依環境基本法、資源回收利用法、循環型社會形成推進基本法、及建設廢棄物回收法之相關規定，制定建設副產物回收推進計畫，將上開建設發生土行動計畫目標值納入計畫目標。惟上開法令主要係規範建設廢棄物之資源回收利用，

據國土交通省官員表示，在該省觀點，建設發生土並非廢棄物，並持續向環境省溝通，主要在於建設發生土的利用不適用於廢棄物再生層層管制。

由於國土交通省主管建設，約佔中央機關九成，故以建設政策指導建設發生土之處理利用，尚能推動政策目的，依據平成 15 年（西元 2003 年）10 月國土交通省所訂「建設發生土有效利用行動計畫」，日本建設發生土所面臨之課題包括：

1. 建設發生土實際狀況未能掌握，包括個別建設發生流向、公共工程土砂管理等。
2. 建設發生土不適當處理，發包者未能掌握利用，大量土砂放置，造成自然環境、生活環境的重大影響。
3. 最終處分場適用問題，包括處分場工程適用土質（1-3 類）運用不足；第 4 種及泥類取用困難。
4. 大量土方搬運造成環境問題。
5. 大量工程需土取自山坡土石採取對自然環境的衝擊。
6. 建設發生土產出量過大。
7. 建設發生土有效利用政策的侷限性，包括強制力、罰責等問題。
8. 污染土壤問題。
9. 廢棄混凝土非法棄置等問題。

為因應上述課題，避免建設發生土不適當處理造成環境衝擊，以及容易取得土石採取原料但造成自然環境影響，日本建設發生土有效利用行動計畫的目標建構在「建設工程必要之土砂來源以工程間利用為原則」，具體指標以「利用土砂的建設發生土利用率」量化評估。

利用土砂的建設發生土利用率= (工程間交換土砂 + 土質改良土砂 + 再生砂 + 工區內挖填平衡土砂) / 土砂使用總量

ps.計算執行對象以公共工程為限，土砂使用總量包括土石採取量

利用土砂的建設發生土利用率在平成 12 年(西元 2000 年) 實績值為 62%，目標設定於平成 17 年(西元 2005 年) 達到 80%；平成 22 年 (西元 2010 年) 達到 95%，期望透過目標的達成，在平成 17 年縮減土石採取 20%。

為達成上述目標值，重要的基礎在於公共工程間土砂交換，因此該省又訂一指標「建設發生土的工程利用率」加以推動。

建設發生土的工程間利用率 = (工程間交換土砂 + 土質改良土砂) / 建設發生土總量

為達成所設定目標值，「建設發生土有效利用行動計畫」針對遭遇課題，提出 8 項對策，摘述如下：

1. 公共工程土量調查的實施：藉由各地方建設副產物對策聯絡協議會、公共工程發包者為對象，於年度前針對工程土量、土質、需求及產出時期等情報資訊調查，以因應建設發生土利用調整需求。
2. 落實建設發生土指定處分：包括推動指定處理、推廣建設發生土利用基準、建設污泥回收利用推廣及再生技術研究、活

用建設污泥再利用制度等。

3. 促進工程間土方交換，以減少土石採取：藉活化各地方建設副產物對策聯絡協議會運作機制、建設發生土資訊交換等措施增進土方交換量。
4. 擴大建設發生土運用：包括填海造陸上的運用，以因應過剩建設發生土。
5. 建設發生土工地減量措施：包括劣質土地盤改良技術、情報資訊交換、發包者觀念的提升等。
6. 檢討資源回收利用法的罰則及強制力。
7. 策訂污染土壤處理對策。
8. 廢混凝土處理對策檢討。

二、日本營建剩餘土石方處理情形

日本建設發生土平成七年（西元 1995 年）產出將近 4 億 4,561 萬立方公尺，其中送往內陸收容處理場所約 3 億 5,445 萬立方公尺，工程交換利用約 6,120 萬立方公尺，海面處分場約 2,663 萬立方公尺，經由再資源化約 360 萬立方公尺；至平成 14 年（西元 2002 年）建設發生土產出約 2 億 4,479 萬立方公尺，其處理送往內陸收容處理場所約 1 億 6,966 萬立方公尺，工程交換利用約 6,443 萬立方公尺，海面處分場約 186 萬立方公尺，經由再資源化約 914 萬立方公尺。至於新採土砂利用則從平成 7 年約 1 億 3,850 萬立方公尺降為平成 14 年 5,243 萬立方公尺。

檢討上述數據的變化，主要在於國土交通省依據「循環型社會形成推進基本法」相關法令體系，積極制訂相關建設副產物回收利用政策計畫推動資源循環再利用，藉由資源投入形成「新設」、「使用」、「解體（拆除）」、「再資源化」的循環，抑制最終處分。整個建設政策計畫架構如圖 2。

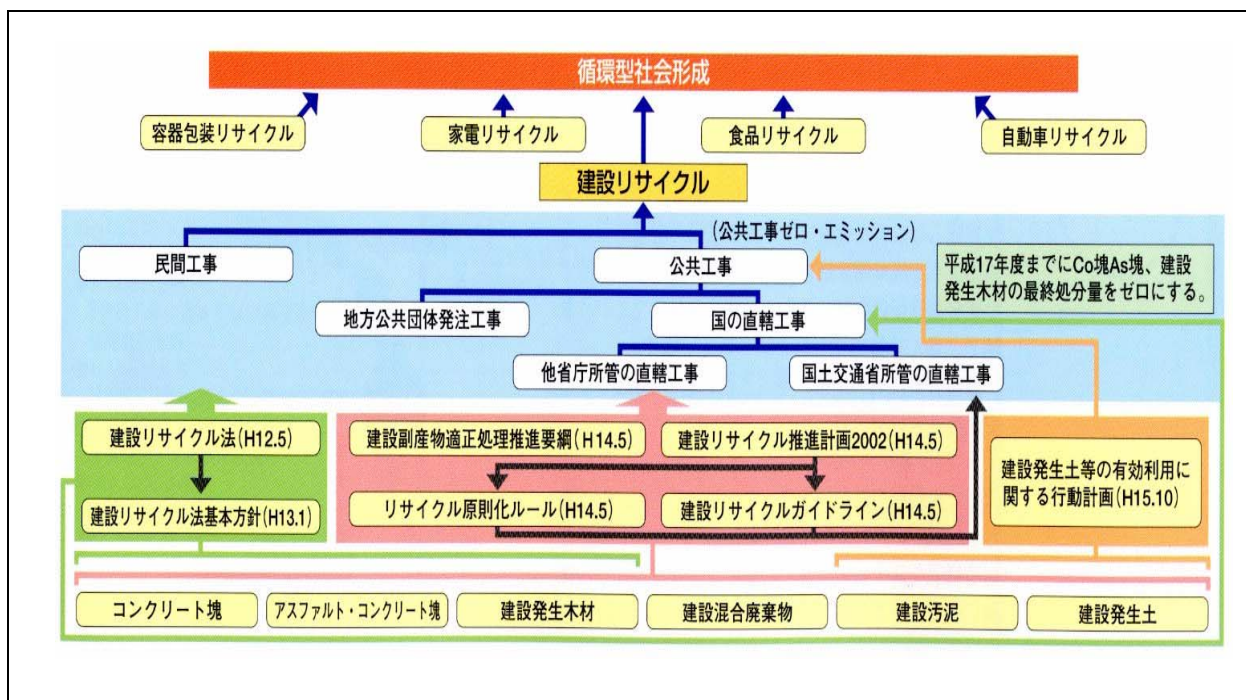


圖 2 循環型社會建設政策計畫架構

由於相關政策計畫的確立，建設副產物（包括建設發生土、建設廢棄物）處理利用的思維包括了建設工程計畫階段、規劃設計階段、以及施工管理階段，藉由減量、再使用、循環概念策定政策基本方向如下：

1. 推動排出抑制
2. 推動分別解體（拆除）
3. 推動再資源化及縮減
4. 推動適當處理
5. 推動利用再使用、再生資材
6. 技術開發
7. 教育宣導

由於最終處分場（填埋場）容量飽和的壓力，以及土砂資源開採不易，使得日本積極推動資源循環利用政策，從上述政

策及執行數據分析，日本對於工程建設無論是產出建設發生土或是需填客土方面，從工程計畫、規劃設計等階段的土方設計減量執行積極，因而大量抑制建設發生土的產出及需土數量，建設發生土產出量幾乎縮減二分之一；土石需求量也由平成 7 年 2 億 474 萬立方公尺縮減至平成 14 年 1 億 5027 萬立方公尺。從源頭管理的政策頗值得借鏡。

依據平成 14 年（西元 2002 年）的調查統計（圖 3），日本土砂利用建設發生土約 65%，工程交換建設發生土（含再利用）約 30%。工程交換建設發生土係透過資訊網站訊息的交換，由工程主辦機關自行撮合。但建設發生土仍有 70%的比例是送往內陸收容場或海面處分場；土砂需求仍有 41%仰賴開採。整個建設發生土雖然再減量部分成績斐然，但在建設發生土處理末端，與土砂石機制的整合部分，仍有提升空間，亦即土砂開採量 5,243 萬立方公尺與送往收容處理場所數量 1 億 6,966 萬立方公尺間似仍有替代空間。據日本相關業者表示，目前仍有土石採取場一方面採取土石，另一方面無視建設發生土性質回填採取坑洞現象。

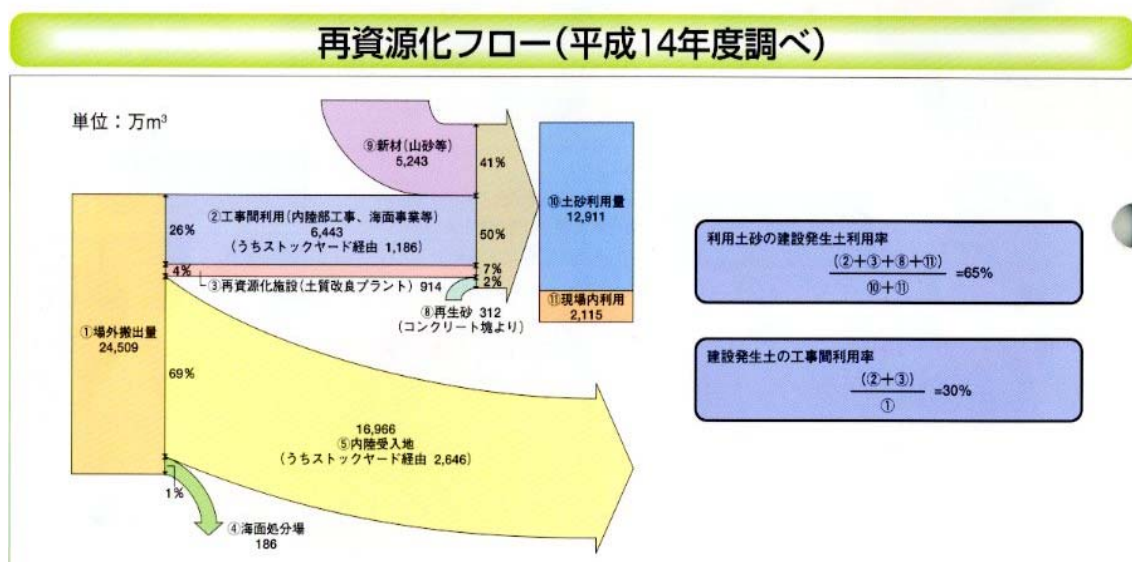


圖 3 平成 14 年（西元 2002 年）發生土資源化調查統計

三、東京新海面處分場處理情形

東京灣內填海造陸工程起源甚早，由於灣岸型式甚佳，可屏障天然暴潮，利於造陸工程，整個東京灣相關地方政府早期造陸工程甚多，技術發達。目前新海面處分場為東京都所轄東京港內最後的棄置場，籌設規劃約起於平成元年間（西元 1988 年），因東京灣屬中央管港灣，故設場所涉法令主要包括該國之港灣法、環境影響評估法、公有水面埋立法等，實際審議流程自平成元年起，歷東京都港灣審議會、中央港灣審議會、環境影響評估、至平成 8 年該都廳依公有水面埋立法許可，歷時約 8 年。場區面積 480 公頃，填埋量 1 億 2,037 萬立方公尺，填埋高程約 6-30 公尺，工程費用約 4,500 億日圓。

新海面處分場收容物以河川、港灣浚渫土為海底地盤，其上收容東京都 23 區焚化爐灰渣以挖槽間覆建設發生土填埋。為考量污染控制及延長填埋場壽命，故廢棄物或建設污泥皆先經焚化處理，以求減量。目前東京都浚渫土年產量約 200 萬立方公尺，其中約 80 萬立方公尺以海面埋立處理，其餘送往千葉縣，回填早期超挖之濱海海底，以復育漁場。

新海面處分場計分 7 區，其中 5 區填埋廢棄物灰渣，未來填埋完成使用以公園綠地為主；餘 2 區填埋浚渫土及建設發生土，未來使用以碼頭等交通設施為主。為了進一步擴大處分場容量，以深挖海底地盤，並於填埋部分浚渫土時，打樁增加壓密沉陷來擴增浚渫土及其上廢棄物容量。

四、日本下水污泥及建設污泥之再利用

依日本「廢棄物處理法」規定，「廢棄物」係指垃圾、巨大垃圾、焚化灰渣、污泥、糞尿、廢油、廢酸、廢鹼、動物屍體及其他的污物，至於含放射性物質廢棄物，則依其他法規之規定管理。因廢棄物產生源之不同，可區分為一般廢棄物(產業廢棄物以外之廢棄物)及產業廢棄物(事業因生產活動中所產生

之廢棄物，法規定義共 20 類)兩大類，其分類如圖 4 所示。而不論國民或事業機構，均應依該法之規定，負起保障生活環境及公共衛生之責任與義務，違反者應依規定予以處罰。

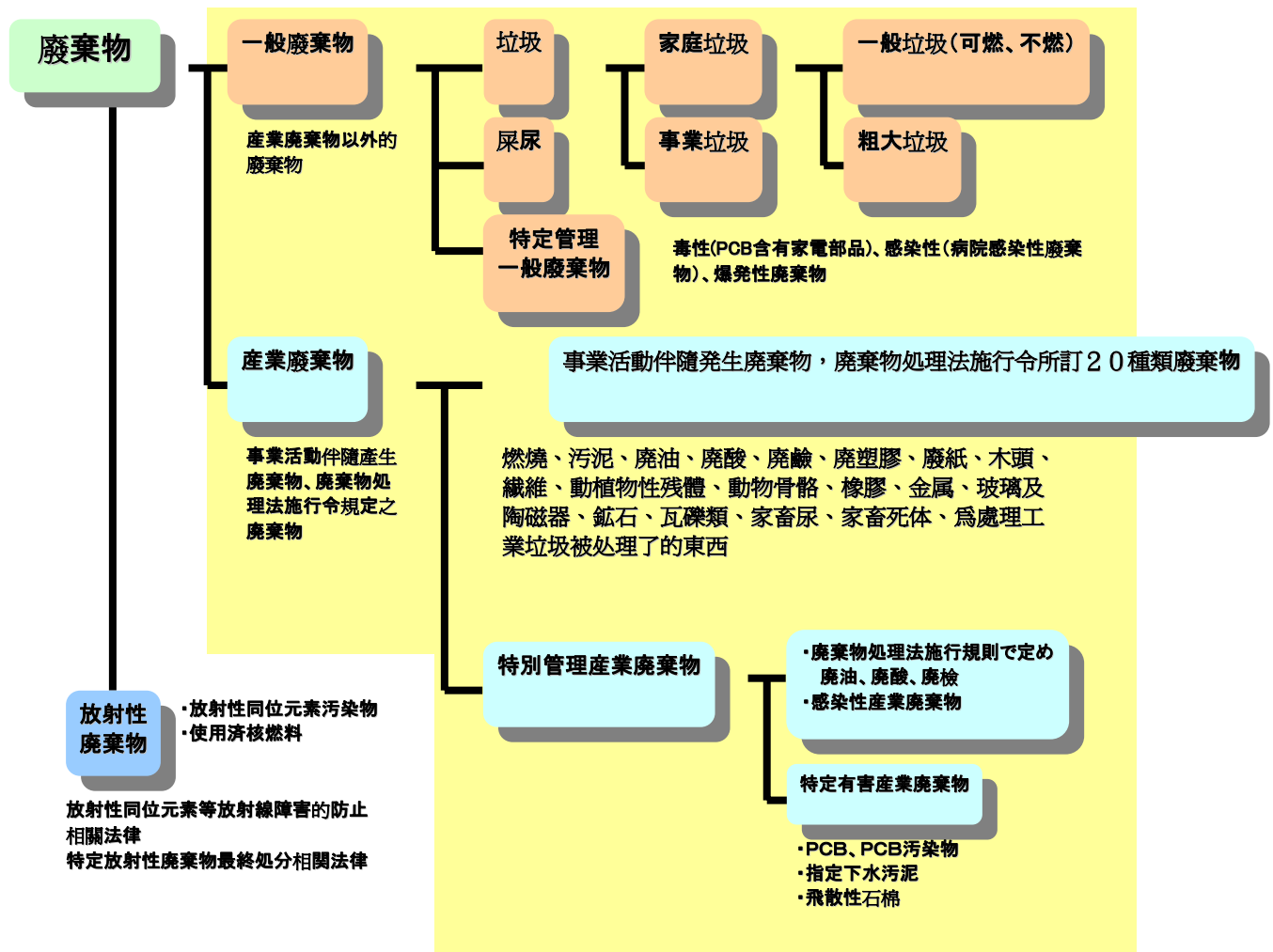


圖 4 日本廢棄物之分類及定義

日本為全世界重要之經濟體，不僅工業基礎紮實發達，同時亦為人口眾多之國家，環境省於平成 15 年(2003 年)統計全國廢棄物產生量約 4.6 億噸，其中一般廢棄物約 5 千萬噸，佔 11%，其餘則為產業廢棄物約 4.1 億噸，佔 89%。面對每年產出數量龐大之廢棄物，環境省所執行之策略，在一般廢棄物方面，

努力實行減量化，至於產業廢棄物方面，則盡可能進行再資源化，如進行再資源化有困難時，才以最終處分之方式處理。依環境省統計 2003 年國內廢棄物之處理方式，一般廢棄物進行減量化約佔 67%，再資源化約佔 17%，最終處分約佔 15%；產業廢棄物部分，再資源化約佔 49%，減量化約佔 44%，最終處分約 7%（圖 5），估計每年廢棄物須進行最終處分之數量僅約 3,700 萬噸。另環境省估算日本國內廢棄物最終處理容量結果，一般廢棄物之最終處理容量尚有 13.2 年壽命，至於產業廢棄物最終處理容量則仍有 6.1 年期限，顯示所推行之廢棄物管理策略相當成功。

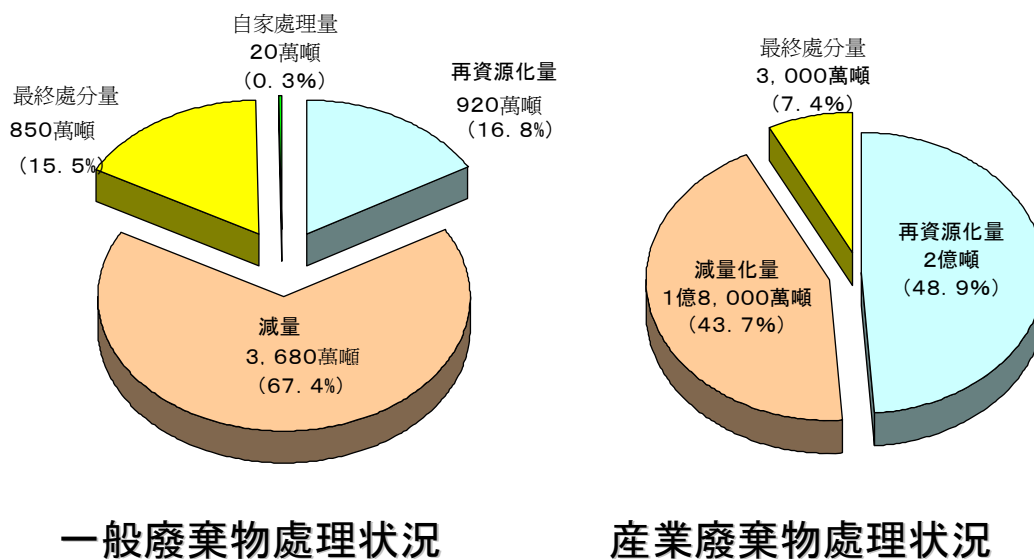


圖 5 日本廢棄物處理方式統計(平成 15 年，2003 年)

有關本次研修重點之污泥處理情形，依環境省之統計分類，均屬產業廢棄物範疇，進一步分析日本 2003 年產業廢棄物之組成，其中下水污泥所佔比例為 18%，約 7,500 萬噸，建設污泥則佔 1.8%，約 750 萬噸，另統計下水污泥及建設污泥進行最終處分數量則分別為 52 萬噸及 270 萬噸，故可知建設污泥之再資源化最為困難。有關日本下水污泥及建設污泥再利用情形，分述如下。

(一)下水污泥之再利用

近年來由於地球暖化現象持續嚴重、石油價格居高不下、全球氣候呈現劇烈變異等因素，迫使世界各國無法繼續忽略我們的環境未來可能要面對的衝擊。為能尋求人類自救之道，聯合國於 1992 年舉辦「地球高峰會」時，即通過「聯合國氣候變化綱要公約 (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)」，對「人為溫室氣體」(Anthropogenic Greenhouse Gas)排放做出全球性管制的宣示，而為落實溫室氣體排放管制工作，1997 年 12 月於日本京都舉行聯合國氣候變化綱要公約第三次締約國大會，通過具有約束效力的京都議定書 (Kyoto Protocol)，以規範工業國家未來之溫室氣體減量責任。

為因應即將實施的京都議定書管制事項，日本早已全面檢討能源應用及二氧化碳排放政策，以結合環境部、經產省、國交省、農水省、文部省、林野廳等中央機關共同分工合作，設定與未來國民生活息息相關的各項推進策略，如：推動設置生物質城市及相關產業鏈、新能源產業、建構循環型社會、廢棄物合理化處理等重要政策構想，由內閣府自 2002 年(平成 14 年)起負責統籌本策略之推動，並召集多之會議研定「生物質·日本綜合戰略」，有關各中央機關之分工如表 1 所示。

所謂生物質(Biomass)在生態學上以表示「生物現存物量」為概念，而在經歷第一次石油危機以後，則統稱為可用做能源利用的有機質，如林業廢棄物，農業廢棄物，畜產廢棄物，城市廢棄物(生垃圾，廢紙)等，亦可稱為「生物資源」。在能源應用政策上，已分析日本國內可供生物質利用的各類廢棄物量(如表 2)，並設定到 2010 年各類可行新能源目標值(如表 3)。

表 1 2004 年的各省廳主要生物質利用推進策略

官 廳	推 進 策 略 內 容	
內 閣 府	綜合科學技術會議的召開等	
農 水 省	生物市鎮構想	自治體制定生物市鎮構想書公開，環境建設生物的補助金支援
農 水 省	生物生活創造構想事業	H16～18 生物由來プラスチック利用推進技術、研究開發、普及啓發導入支援
林 野 廳	木質ペレットの規格化	2005 年度業界研究會開始，2、3 年後自主預定
	木質生物利用推進	急傾斜地用的採伐搬出機械的開發推進、木材碎屑安定供給體制構築指標作成普及等
經濟産業省	新能源產業景象的制定	新能源市場環境整備，提高產業競爭力政策轉換。
經 産 省 國 交 省 環 境 省 等	生物燃料導入推進	基於生物燃料導入課題的匯總、V A I O 柴油燃料規格化、對 V A I O 乙醇 3% 混合汽油(E3)實際應用的加油試驗(經濟産業省)，實施專用 V A I O 柴油燃料的汽車安全環境性能的評價(國土交通省)、E3 普及促進(環境省)
國土交通省	面向迴圈型社會構築的形成的生物的有效的利用	對寒冷積雪地方的煤氣成套設備能安放 V A I O 技術的普及，並且垃圾處理器普及影響之委員會議召開。
環 境 省	環境與經濟的好循環事業	環境與經濟好循環圈實現、國內外普及事業實施
	廢棄物處理合理化	小型焚燒爐 (不足 200kg/h) 安裝標準緩和
文部科學省	一般・産業廢棄物・生物的複合處理・再資源化實證項目	H16-18 廢棄物/生物的资源再生開發能源改變效率的高瓦斯化證明，並且處理實施應用和關於社會系統普及的設計研究開發的實施。
經 産 省 等	愛知萬博 (2005 年 3 月開幕)	生垃圾的生物利用、バイオマス・プラスチック製食器的利用、V A I O 煤氣發電・燃料電池・太陽光發電組合構築
經 産 省 環 境 省	CDM/JI (溫暖化防止海外的事業)	CDM/JI 事業的政府承認申請受理開始。生物活用關係 JI/CDM 事業實現可能性調查的實施、CDM 型號認證事業

表 2 可用於生物質利用廢棄物之調查分析

生物質種類	每年產生量(濕基)(萬噸)	每年產生量試算值(乾基)(萬噸)	有效利用情形
家畜糞尿	9,100	1,500	肥料利用約 80%
食品廢棄物	1,900	180	未滿 90%用於肥料飼料利用，10%用於焚燒填海造地等
製材工場等殘材	610	520	約 90%用於能源和肥料
廢棄紙	1,400	1,200	大半焚燒
下水污泥	7,600	230	建設資材及肥料利用約 60%，掩埋約 40%
紙漿黑液	1,400	1,200	大體上全部重量直接焚燒利用
建設發生木材	480	410	造紙原料，板材原料，家畜飼料等利用約 40%
農作物非食用部分	1,300	910	肥料・飼料等的利用約 30%
林地殘材	390	330	大體上未利用

表 3 可行新能源導入目標值

(原油換算萬公秉)

		2002 年(實績)	2010 年(目標值)
發電用途	太陽能發電	16	118
	風力發電	20	134
	廢棄物發電及生物質發電	175	586
熱能利用	太陽熱能利用	74	90
	廢棄物熱能利用	164	186
	生物質熱能利用	68	308
	未利用能源	4.6	5
	黑液、廢木材等	471	483
合計		992	1,910

日本政府相當重視下水道之建設，其下水道普及率自 1974 年的 16%開始，經持續不斷的擴建，至 2003 年普及率已達 67%，平均每年成長率為 1.7%，而處理水量及發生污泥量亦隨著普及率之持續上升而逐年增加，截至 2002 年止下水道總長度約為 35.9 萬公里，2003 年下水道之維護管理費用高達 7,884 億日圓，各項統計數據均顯現出日本政府對於推動民生基礎建設之用心程度。

污泥在排出時，往往因含水率均超過 95%以上，致與液體特性相同，多半可藉由幫浦加壓經由壓力管線輸送，為其物理特性。此外，濃縮後之固體物富含大量有機質，屬前述生物質之一部分，可供生物質之相關應用用途；而無機質部分，亦可提供用作再生建材之骨材，故下水污泥之再利用方式相當豐富而多元化。

各類產出之污泥(含民生廢污水、農業畜牧污泥、食品業廢棄物及其他有機性物質)須經過適當的處理程序，始得進行各項再利用。從廢污水產生源排放開始，藉由建構完善的下水道系統先予容納收集，再送至廢污水處理廠進行處理，於適當的固液分離程序後，可先將污水及下水污泥分離，進行個別處理。由於下水污泥之含水率(以含水率 99%、有機成分 0.8%、無機成分 0.2%為例)極高，須先進入濃縮單元處理，一方面可以有效減少待處理下水污泥之體積，降低處理槽建置成本，另一方面又可以提高下水污泥有機質含量，俾利於後續各處理程序之進行。

完成濃縮之下水污泥，其含水率約可去除 66%(即體積約減為原體積的 1/3)，即可進入消化單元。消化單元係於厭氧狀態下，藉由細菌的分解作用，將部分易分解之有機質分解，並產生甲烷(CH_4)及二氧化碳(CO_2)，其中甲烷為本單元重要的副產物，除可供應消化單元自行加熱之用外，如產出量相當豐富時，亦可予以收集、純化後提供其他天然氣之用途，如天然氣發電、

天然氣交通工具之能源等。經消化單元之下水污泥其有機成分約減少 50%(即降為 0.4%)，然而含水率仍維持在 33%，此時無法直接進入焚化單元處理。故消化後之污泥仍待進一步脫水將含水率減為 2.5%左右，始得進行焚化。

焚化單元一般操作溫度均控制在 850℃，以利可燃物於焚化爐內完全燃燒，故進料之可燃物其含水率須有限制，以免降低爐內操作溫度，可處理污泥之焚化爐為調控燃燒溫度，亦可摻配其他較乾可燃性廢棄物共同燃燒，除了可維持焚化效率外，同時亦增加焚化熱能之產出，經有效回收轉化後，尚可產出多餘電力。有關下水污泥處理流程如圖 6 所示。

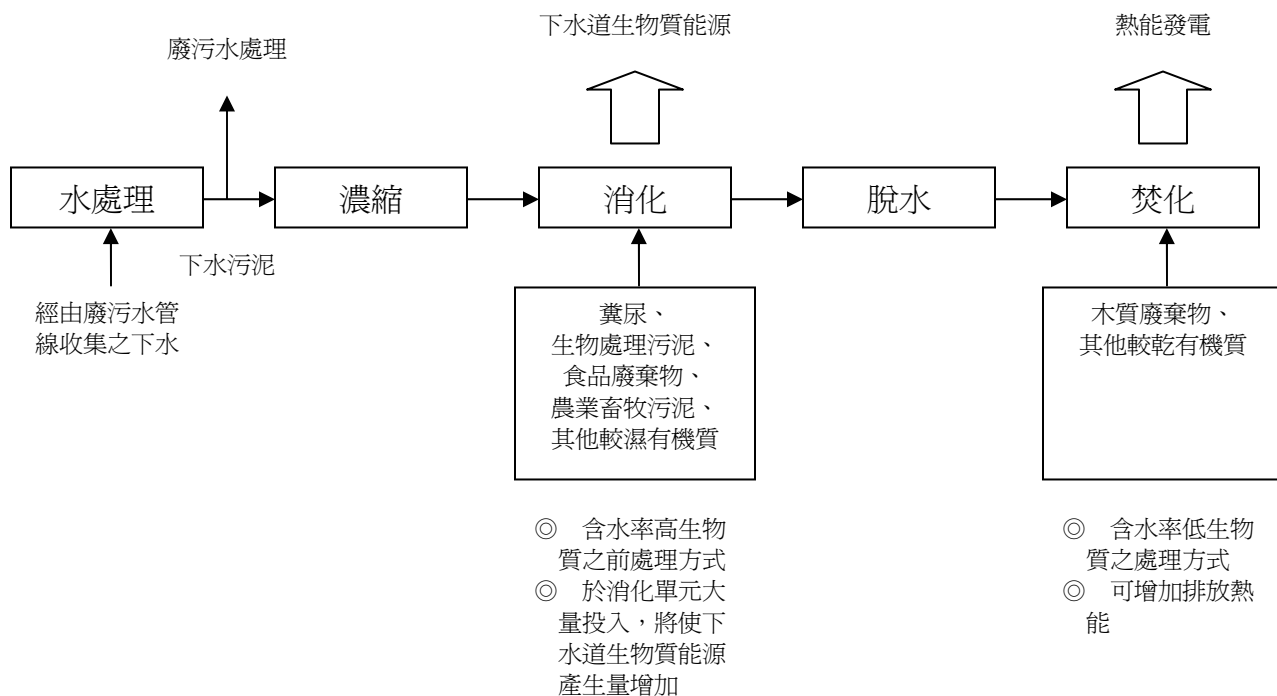


圖 6 下水污泥處理流程

至於下水污泥的其他再利用方式，尚包含用於生產肥料、土壤改良劑、炭化污泥、水泥及製磚原料等。

(二)建設污泥之再利用

前已提及日本政府已著手建構資源循環型社會，於法規制定工作部分，1993 年即已公布「環境基本法」宣示其對環境保全的理念，並依環境基本法再公布「循環型社會形成推進基本法」，以整合廢棄物處理法及「資源有效利用促進法」，進而設定環境基本法之法令框架，經融合此二法之不同屬性，進而相輔相成達到所謂「循環型社會」之目標，即建立產品與廢棄物間合理的循環關係，確保自然資源可以永續利用，且對環境的負荷儘可能降低的社會，目前已根據個別物品的特性及限制，完成訂定建設再利用法、食品再利用法、自動車再利用法、家電再利用法、容器包裝再利用法及等相關子法納入資源循環再利用項目，此與前述「生物質·日本綜合戰略」對於生物質再利用之理念，有異曲同工、相互呼應之處。

建設再利用法係國土交通省為規範各類營建工程(含民間及公共工程)所制定，其基本方針為減少建設廢棄物之排出、改進拆除技術、發展再資源化及合理處理技術、創新再使用及再生資材的利用、充分理解和參與計劃的推進等，並配合辦理相關拆除業者登記作業，訂定列管工程規模門檻，研定拆除技術規範準則，並設定瀝青混凝土(98%以上)、混凝土塊(96%以上)、建設污泥(75%以上)、廢木材(95%以上)、建設混合物(產出量削減為 2000 年的 50%)及建設發生土(95%以上)等各項至 2010 年再資源化目標，以提高再資源化之績效，降低廢棄物處理設施容量之壓力。

至於建設再利用法的實施原則為：

1. 適用國土交通省所管轄的事業(含受託工程)。
2. 儘可能以總體經濟效益的宏觀角度為實施之考量依據。
3. 建設副產品的搬運責任歸屬
 - (1) 混凝土塊、瀝青混凝土塊、廢木材等由再利用者負責搬運。

- (2) 建設發生土及建設污泥於 50 公里範圍內，由工程單位自行搬運。

4. 工程應考慮使用再生資材的情形

- (1) 再生骨材：如果距工地 40 公里以內有再資源化設施可供利用者。
- (2) 瀝青混凝土塊：如果距工地 40 公里或車程 1.5 小時以內有再資源化設施可供利用者。
- (3) 建設發生土、建設污泥處理土：於 50 公里以內可由其他相關建設工程利用。

廢棄物處理法對營建廢棄物之管理措施，包括自工地產出、清除、中間處理及再利用等各階段(如圖 7 所示)，而環境省對於產業廢棄物管理雖有相當之績效，仍無法避免非法棄置之發生，參考環境省 1999 至 2004 年間之統計，產業廢棄物非法棄置數量約在 25 萬至 75 萬噸不等，統計資料顯示，以建設污泥等為主要非法棄置之廢棄物類別。

目前日本建設污泥之處理多用於低附加價值之回填料、砂土替代材料或路基填材料為大宗，雖然有相當的需求量，所面臨的關鍵問題在於其再生品成本相當高，無法與建設發生土再生製品相競爭，未來應按照「有關建設污泥的再生利用的方針」規畫之方向，積極推動再利用。而國交省認為可行之誘導方法為：直接在工地現場與送往中間處理設施改良的方式均有利建設污泥之再利用，另一方面，擴大建設污泥再生品的使用及需求亦不可忽略。

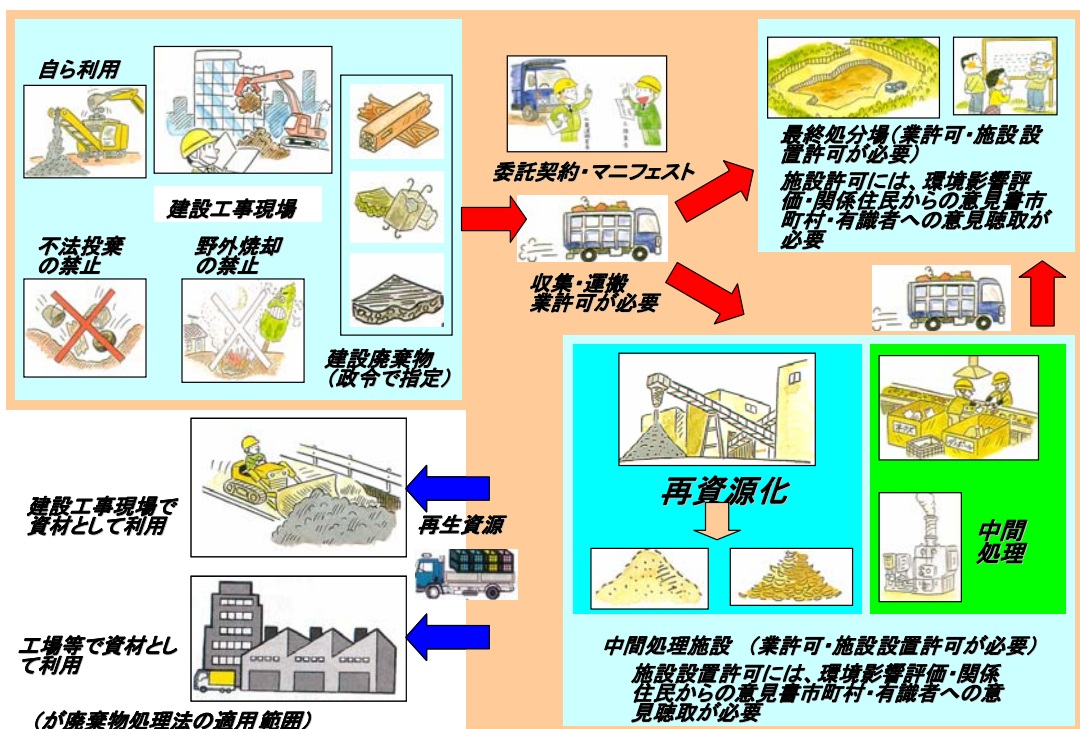


圖 7 廢棄物處理法對營建廢棄物管理概要

日本政府面對建設污泥再生利用課題時，首先瞭解建設污泥無法推動再生利用之原因，包含：

1. 缺乏再生品統一的質量標準。
2. 相關再生利用政策繁雜不清楚。
3. 促進再生利用的制度未充分訂定。
4. 再生品的價格昂貴。
5. 多數相關人員自身的再生利用意識仍低。

進而思考的因應策略為：

1. 徹底抑制建設污泥的發生。
2. 促進再生利用的作為。
 - (1) 訂定再生產品品質標準。
 - (2) 簡化、明確化再生利用制度及手續。

(3) 在公共工程的率先使用再生產品。

3. 推進合理的處理。

4. 強化相關人員的再生利用意識。

有關建設污泥管理之課題，日本政府以積極穩健的步伐，藉由一系列政策規畫、法規制度訂定與執行、問題檢討與實務差異研析、持之以恆的政策推動，來逐步解決其建設污泥再利用問題，確有可供參考借鏡之處。

五、日本港灣、水庫淤泥處理技術暨資源再利用

日本針對淤泥或其他土壤之處理，成立相關研究會以達資源妥善處理，包含：TW 工法研究會、固化處理研究會、泥土處理研究會等，值得我國效法，以下介紹處理方法、程序及技術。

(一) 浚渫土砂之利用方法

日本浚渫土之利用方式主要分為有效利用及海洋投入（即海拋），前者有效利用需將浚渫土性質、使用對象要求品質、地盤條件、施工條件以及經濟性等予以考慮，依其特性採取 5 種方案辦理（圖 8）。至於海洋投入需取得主管機關認可後進行之，惟應減少數量。

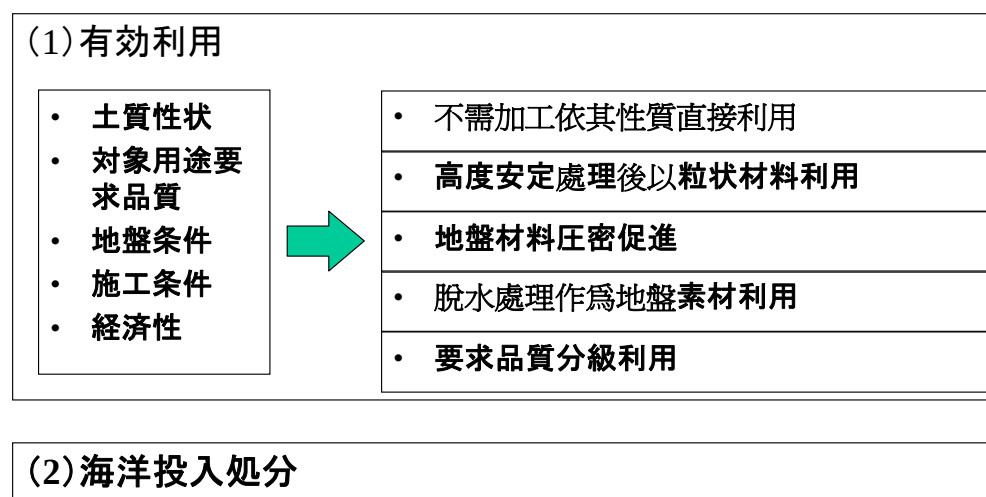


圖 8 浚渫土砂之利用方法

（二）浚渫土有效利用區分（與海洋環境有關）

以減輕海洋環境影響的觀點，港灣事業疏浚產生之浚渫物予以有效利用（造陸、養灘、覆土、基地改良等）。（表 4）

表 4 有效利用區分（與海洋環境有關）

區分	實績		土砂與海洋關連
土地造成（港灣埋立）	國內	國外	港灣等埋立方法、埋立材料投入對土砂海水侵蝕之可能。
覆砂（覆土）	多	有	覆砂、養灘、淺場、干瀉造成的場合，土砂直接投入。
養灘（海岸線保全）	多	有	
淺場、干瀉造成	多	有	
溼地修復、造成	有	有	溼地修復、造成場所、土砂投入對海水侵蝕之可能。
野生生物生息地	有	有	野生生物生息地，土砂投入對海水侵蝕之可能。
漁場改善、改良	有	有	漁場改善、改良、水產養殖、水產利用造成場合，土砂直接投入。
水產養殖、水產利用	-	有	
地盤改良	-	有	地盤改良場所方法，土砂投入對海水侵蝕之可能。

（三）浚渫土砂有效利用適用例（表 5）

表 5 浚渫土砂有效利用國內適用例

場所、名稱	種類、目的	造成材性質
五日市造成干瀉 昭和 62~平成 2 年度	干瀉造成：生物生息地機能考慮	干瀉用材需考慮鳥類餌食的虫種類生息環境，含泥分 5%以下浚渫黏性土使用，與自然干瀉底質粒度（ $\Phi 0.4\text{mm}$ ）同程度海砂覆砂。
具志川造成干瀉 平成 5~9 年度	干瀉造成：生物生息地機能考慮	蜥蜴爬蟲類生息環境考慮，含泥分及黏土 97%浚渫土使用。
羽田沖造成淺場 昭和 62~平成 16 年度	淺場、干瀉造成：生物生產機能考慮	浚渫土使用考慮干瀉部分哈仔生息環境考量使用清淨海砂覆砂。
幕張海濱 昭和 52~54 年度	人工海濱造成：迪斯奈海洋創出	Pump浚渫船自海底採取 $D_{50}=0.184\text{mm}$ 的良質砂填土。
津田灣 平成 3~5 年度		

(四) 浚渫土砂有効利用処理程序 (圖 9)

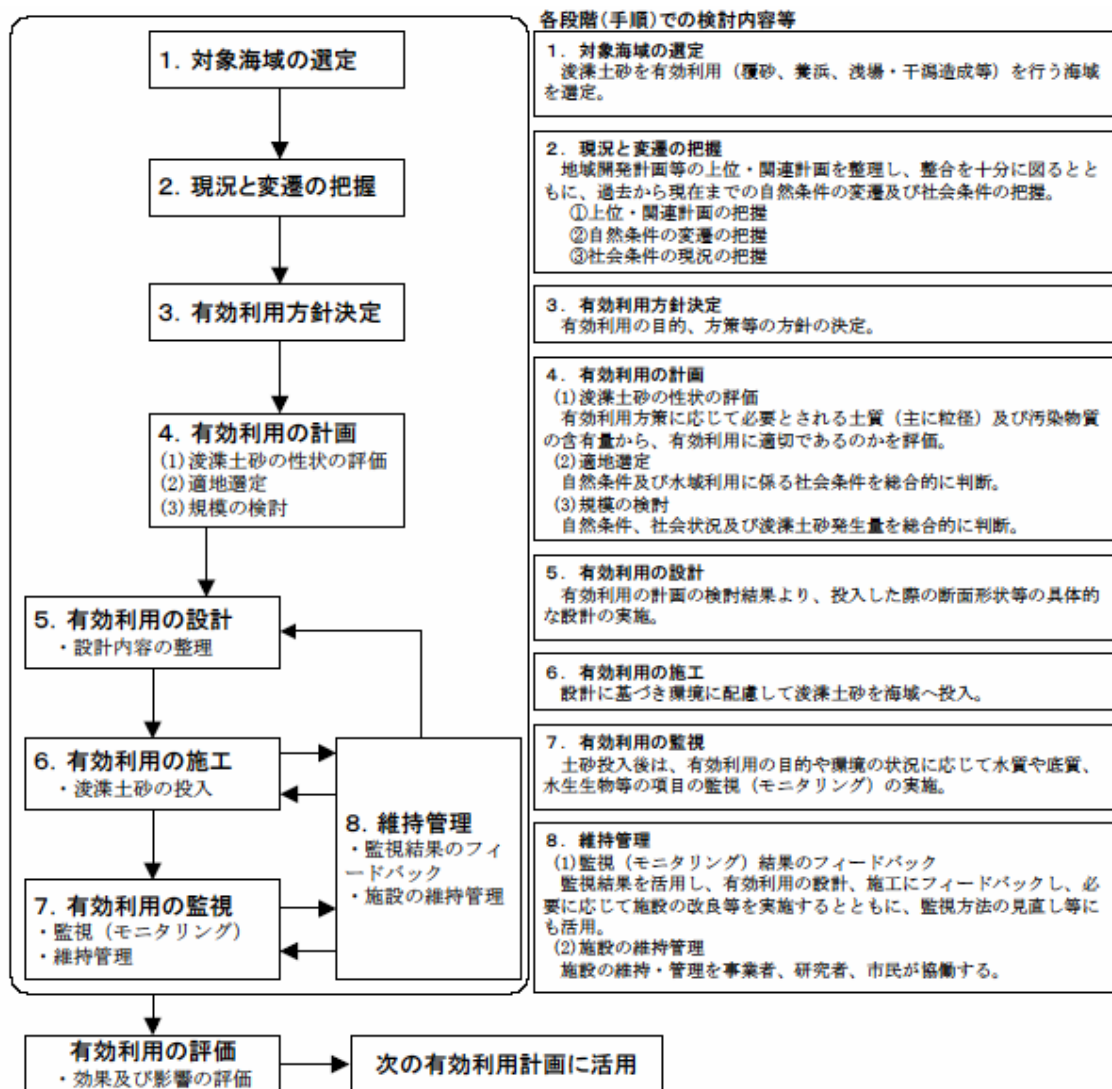


圖 9 浚渫土砂有効利用處理程序

(五) 浚渫土砂（軟泥土）處理工法（參考圖 10、表 6）

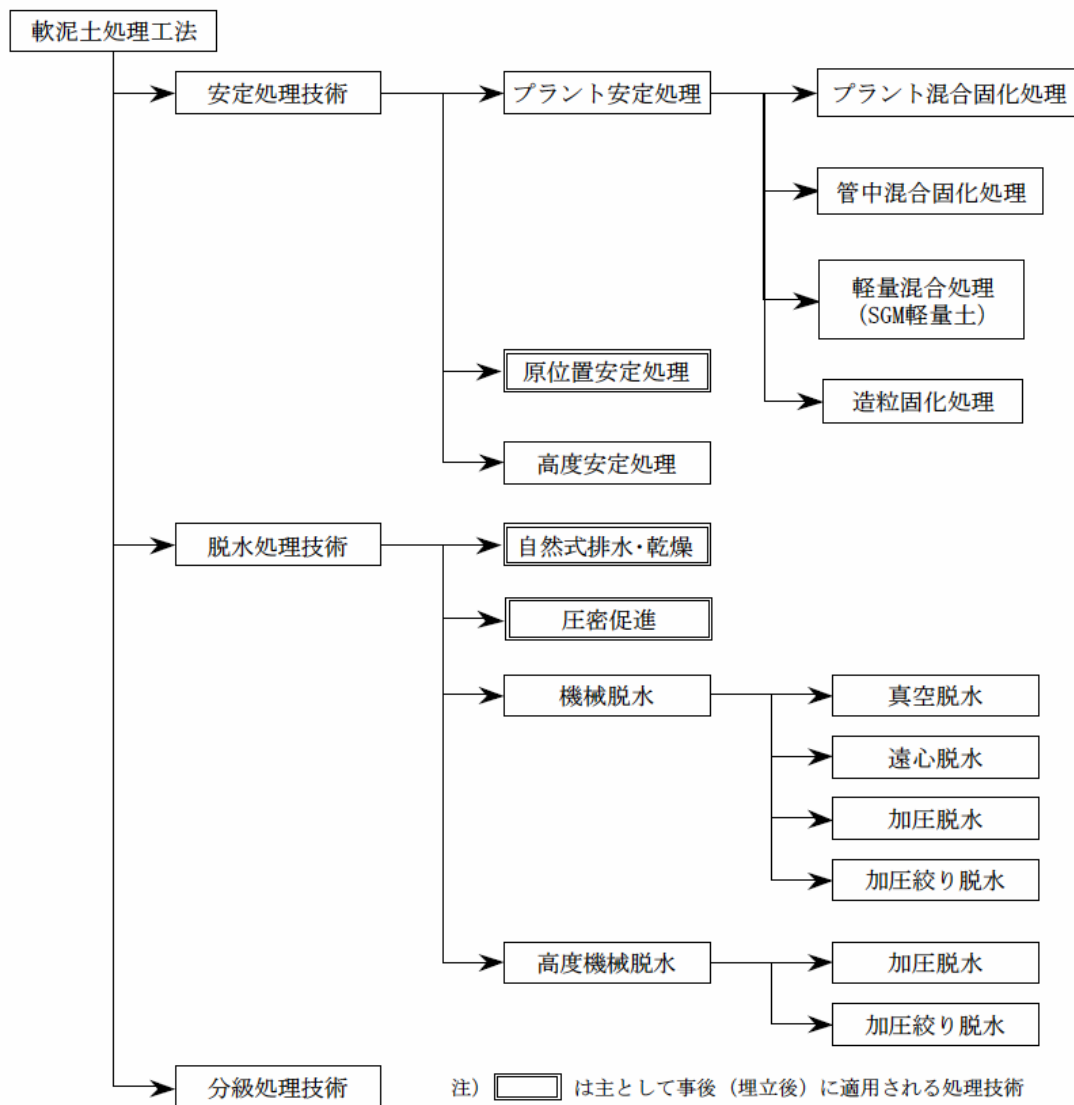


圖 10 浚渫土砂（軟泥土）處理工法

表 6 浚渫土處理工法

錯誤!

工法	施作公司	内容
プラグマジック工法 管中混合固化 処理工法	東亜建設工業（株）	當把压缩机空气和壓送中的軟泥土在管中混合，進入較大管徑時再與水泥混合產生固化並於另一端排出，本法有施工快速和成本降低優點。（凝固處理能到 1,000m ³ /h。）
F T マッドキラー工法	（株）フジタ	FT マッドキラー能瞬間吸水改質，高含水量之泥土、疏浚沙土或者建設土，並且改良土質屬中性泥土，不會對動植物產生影響的特征。在施工之際，是因為是作為瞬間的改質，所以不需要處理工地及時間的施工方法。不需要改質時的保養時間，並且也能在バックホウ容易施工的技術。
高含水泥土造粒固化処理工法	五洋建設（株）	把含水比調整材料和煤炭灰之固化材料或水溶性聚合物等的材料與高含水量之疏浚土混合，並且用專用造粒攪拌機 30-60 秒混合，是製造粒狀的改良土的方法。
イコンシステム	東洋建設（株）	疏浚土或者大量高含水的建設土等添加固化材料，並且在處理土的利用目的物性改良，能有安定的品質，針對所有特性的土砂，利用連續攪拌混合處理設備，製造品質安定之固化物，以達泥土再利用的技術。
R e S M工法	（株）熊谷組	以改造的粉碎器車(能粉碎粘土塊、含水比幅度大之浚渫土應付、岩碎混入可能)用流動狀態高速攪拌，可製作任意的強度的均質人工地基(堤岸身體、盛土、填補)的技術。
疏浚砂土的有效的減容處理技術	（株）大林組	疏浚砂土以螺旋分級機於短時間完成分級，並且使含量多粘土成分的泥水，由於過濾器擠壓完成脫水，並且是使處理時間的縮短、藥劑使用量的減少、減容率的提高、設備面積的縮減、成本的減低，成為可能的減容化處理技術。
ボンテラン工法之浚渫土砂回收技術	ボンテラン工法研究会	對疏浚沙土混合纖維質量物質和高分子改良液，並且能作為高耐久性改良土，具有優秀強度特殊性的土，輕量盛土材可以應用。另外，綠化基地改良土方面，保水力、保肥力、輕量的特征、團粒化優越，並且接受了利用用途的品質的確保成為可能的技術。

（六）案例介紹

- 1.工程：昆陽池浚渫底泥高压薄層脫水技術及底泥回收处理
- 2.施工者：鴻池組株式會社
- 3.昆陽池紹介：
位於兵庫県伊丹市，面積約 10 公頃，周長約 1.6km，市民的休憩場所，関西候鳥的越冬地(鳥獣特別保護区)
- 5.問題：昭和 50 年代前半年來產生水質惡化，現在夏天產生大量藻類，帶來水質污濁問題。



照片 1 昆陽池候鳥聚居地



照片 2 昆陽池鳥瞰寫真

- 5.目的：
 - (1) 流入水源(井戸水)対策
 - (2) 給餌池設置
- 6.採用本工法原因：
 - (1) 以往以排水方式施工不符環境要求，地方反對。
 - (2) 疏濬淤泥固化掩埋成本高。
 - (3) 疏濬淤泥經高壓薄層脫水後成具有強度之泥餅（圓錐指數 400kN/m^2 ）可供再利用。
- 7.工事概要：

浚渫、壓送→脫水、固化→回收利用

8. 工期：

平成 15 年 12 月～平成 18 年 7 月(約 32 個月)

(浚渫・脫水處理工事期間：平成 16 年 3 月～平成 18 年 2 月)

9. 浚渫底泥量：29,900m³

10. 脫水處理土量：17,300m³

11. 高壓薄層脫水用於底泥脫水流程（圖 12）



照片 3 昆陽池底泥浚渫

高压薄層脱水系統概要



高压薄層過濾器擠壓

◆濾室厚2cm

◆自動圧力控制

2段式加壓系統

・渦巻式充填pump

・脱水圧力1.5MPa

◆短時間大量処理

◆高強度脱水泥餅製造的可能

(原錐指数 400kN/m^2 以上, 第3種建設発生土再利用可能)

圖13 高压薄層脱水機

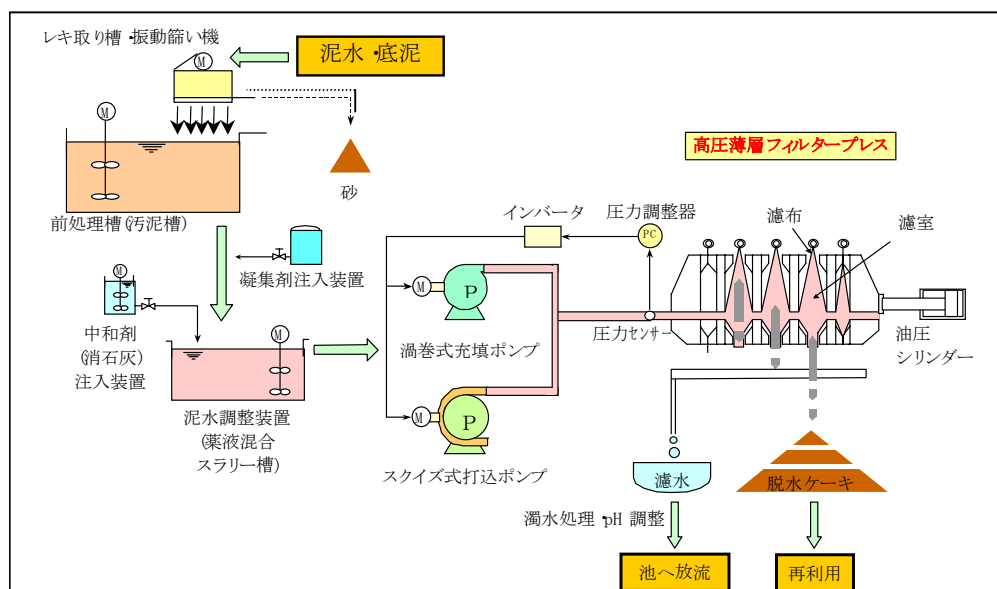


圖14 高压薄層脱水處理流程

12. 脫水處理工事結果□

◆施工量

- ・ 脫水泥餅量：約 17,300m³(減容化率 58%)
- ・ 処理能力：平均約 71m³/日
- ・ 凝集剤添加量：平均 6.1%
- ・ 消石灰添加量：平均 1.2%

◆工期

施作中因公園仍繼續開放，為配合作業，以致處理時間拉長。

脫水處理工事結果②（表 7、表 8）

表 7 脫水處理期間中脫水泥餅圓錐指數

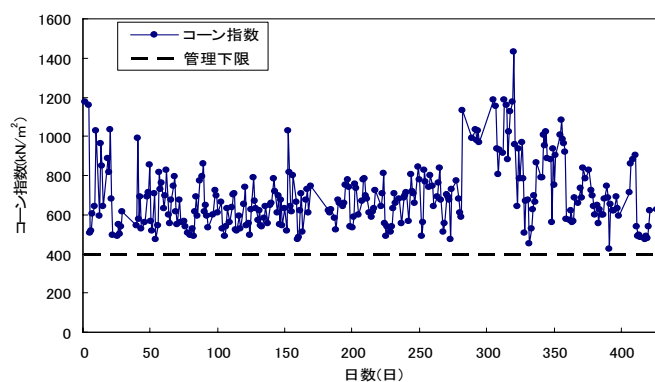
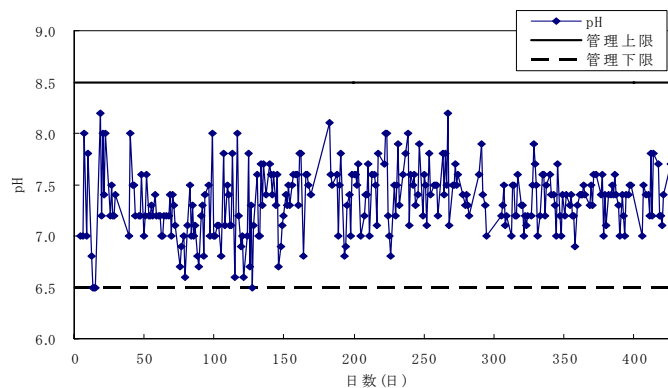


表 8 脫水處理期間中放流水 pH 值



脫水處理工事結果③（表 9）

表 9 原泥，脫水泥餅各種測定資料

	原泥	脫水泥餅	
	含水量%	含水量%	圓錐指數 (KN/m ²)
平均值	862	51.7	700
最小值	209	28.7	420
最大值	2952	81.3	1430
管理基準			400 以上

13. 今後的課題

- (1) 少量處理量對應，低費用施工可能檢討
- (2) 脫水泥餅轉用先行確保

六、日本輕質骨材發展製造及利用

（一）輕質骨材簡介

輕質骨材具有質輕、耐久性、隔熱性優且強度夠等優點，適合使用於房屋建築的構材，世界各先進國家引用為營建材料已有多數年之歷史，其中美國是世界上生產人造輕質骨材最早的國家。輕質骨材大致可分成天然及人造兩種。天然骨材以火山岩居多，但產量有限，品質穩定性較差；人造輕質骨材則主要利用天然材料如膨脹頁岩、膨脹粘土等燒製而成。早在 1917 年美國人 S.J.Hayde 使用某種粘土於高溫下燒成球，原料含有之某些成分，由於高溫加熱而於內部發生氣體，而表皮形成堅硬的玻璃層。其製造法有數種，例如以頁岩、粘土、粘板岩及飛灰等原料製造的人造輕質骨材。美國首先使用旋窯燒製膨脹性黏土及頁岩輕質骨材，來解決常重混凝土自重大之缺點，進而於 1950 年代，普遍使用輕質骨材拌製成輕質混凝土使用於房屋框架、橋面板及預鑄構件等，如芝加哥的 42 層高樓。

日本於 1966 年成立人工輕量骨材協會，最初會員有 8 家，

目前僅存 2 家。工廠家數減少原因為：1.輕質骨材單價高；2.高強度混凝土出現，衝擊輕質骨材市場；3.輕質骨材強度較傳統骨材強度低，為增加強度需增加水泥，成本高。其燒製原料係使用天然頁岩經破碎後直接進入高溫旋窯燒製，另 1 家則取自黏土（頁岩）經造粒機加工為顆粒狀後進入高溫旋窯燒製，該頁岩經由旋窯高溫燒製成為內含孔隙外表緻密之輕質骨材。

日本人工輕質骨材生產量與樓地板面積（著工床面積）數量有相似趨勢，隨著樓地板面積增減。自昭和 60 年至平成 14 年期間最高年產量為 110 萬立方公尺（平成 4 年），最低年產量為 40 萬立方公尺（平成 12 年），平成 14 年年產量為 50 萬立方公尺。

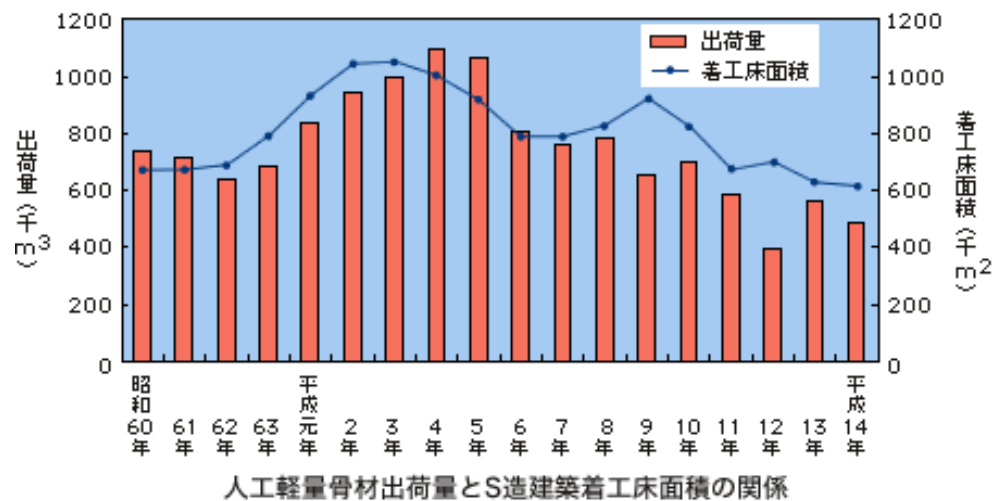


圖 15 日本人工輕質骨材生產量與樓地板面積關係圖



大阪(梅田)駅前高層ビル群
大阪駅前ターミナルビル・ヒルトンホテル他多くの
高層ビルにアサノライトが使用されています。

- | | | |
|---------------|----------|-------------|
| ① グランドビル | ④ 駅前第2ビル | ⑦ 大阪ガーデンシティ |
| ② 大阪駅前ターミナルビル | ⑤ 駅前第3ビル | ⑧ 阪急HEPファイブ |
| ③ ヒルトンホテル | ⑥ 駅前第4ビル | |

照片 4 日本輕質骨材建物實例

(二) 輕質骨材種類

輕質骨材可大要的分成天然和人造兩大類。人造的輕質骨材種類相當多，重要的有利用天然材料如粘土、頁岩、火山玻璃石、生雲母等燒製而成的膨脹粘土、膨脹頁岩、珍珠石、蛭石等，以及由工業廢料如爐石、飛灰等製作成的膨脹爐石、燒結飛灰及冷結飛灰等。其他如利用高分子烯製造的泡沫球，因本身完全不具強度，在混凝土內只成為製造孔隙的部份。天然的輕質骨材大都為含有孔隙組織的火山噴出岩，是由火山岩漿自不同的深度噴出火山口後，冷卻成形狀、性質各異的多孔隙材料。較為重要也被人們實際應用過的天然輕質骨材有浮石、泡沫火山岩等。在前述幾種較重要的輕質骨材中，其外形、顆粒結構、顏色等各異，顆粒密度的分佈範圍甚廣，由 100 kg/m^3 到 2000 kg/m^3 之間，故性質的差異度甚大。

（三）輕質骨材的特質

天然輕質骨材以火山岩居多，主要依岩漿外噴過程的深度不同而形成性質互異的材料，由於在形成過程中無法加以控制，致其表面和內部孔隙變異性甚大。

人造輕質骨材最有利之處在於製造過程的人工化，而可對性質做某種程度的控制。不過除了膨脹黏土、頁岩及板岩可形成堅硬、渾圓且接近封閉的外表層外，其餘如膨脹爐石、燒結飛灰、真珠石等均無堅硬之表層，外表也較不規則、吸水率也較大，使其整體骨材品質較差。頁岩及板岩可由原料打碎並直接燒製成非造粒形輕質骨材，黏土或塑性較大之頁岩則可先行造粒，然後燒製成接近圓球形的造粒形骨材，粒徑可由原造粒控制其大小。

不論是天然或人造輕質骨材，其最大特點在於材質中含有相當高比例的孔隙。骨材組織中的孔隙可分為表層孔隙和內部孔隙二種，表層孔隙的存在，較不利於骨材的品質，最明顯的是對強度、吸水率、和混凝土工作性的影響。而品質已被肯定為較理想的膨脹頁岩及膨脹黏土之類的輕質骨材，除了不含表層孔隙(開放式)外，最重要的是它擁有一層燒結成形且強度高的硬表殼，使它能因具有富含量的內部孔隙，而成為一種顆粒密度小，卻擁有低吸水率、高強度的輕質骨材。

輕質骨材的粒徑除了造粒型之膨脹骨材，可由事先的原料造粒完全控制其顆粒粒徑外，其餘非造粒型人造骨材其粒徑是依原料的碎粒大小而定。

（四）下水道污泥產製輕量細粒料案例介紹：

1. 產品由來：

以資源再利用觀點處理下水道污泥而產製輕量細粒料 (Sludge-Light)

2. 製造單位：東京都政府下水道局南部汙泥處理工場

3. 汙泥來源及處理量：

東京都內、中央區、千代田區、品川區、南部地區下水道污泥，先初期脫水每日產生 1000~1200 噸泥餅，該泥餅經焚化

爐燒化得到 1/20 體積之灰燼。該灰燼與水泥混合後掩埋完成汙泥處理作業，但亦有將該灰燼資源化製成スラジライト（Sludge-Light）用於植栽、濾材、透水性磚等工程。

4. 製品：

スラジライト（Sludge-Light）分細粒（粒徑 0.6~1.7mm）及粗粒（粒徑 1.7~3.4mm）二種。係利用下水汚泥經焚化所得之燒卻灰（The Sludge Ash）添加粘結劑、界面活性劑、水予以混鍊造粒乾燥並於 1050℃ 多段噴流爐燒製並冷卻成為產品。

5. 特性：スラジライト（Sludge-Light）

表 10 スラジライト物理性質

項目	單位	值
比重		1.6~1.8
體比重		0.9~1.1
抗壓強度	Kg	>3.0
比表面積	m ² /g	0.713
吸水率	(24hr) %	8.8

6. 用途：

- (1) 屋上綠化植栽用土。
- (2) 地下タンク(the underground Tanks)充填劑。
- (3) 樹脂舗装道路。
- (4) 透水性磚。
- (5) 人工地盤排水材。
- (6) 水処理過濾材。
- (7) 土壤脱臭床材料。

7. 製造流程：（圖 16）

轻量細粒材化施設流程

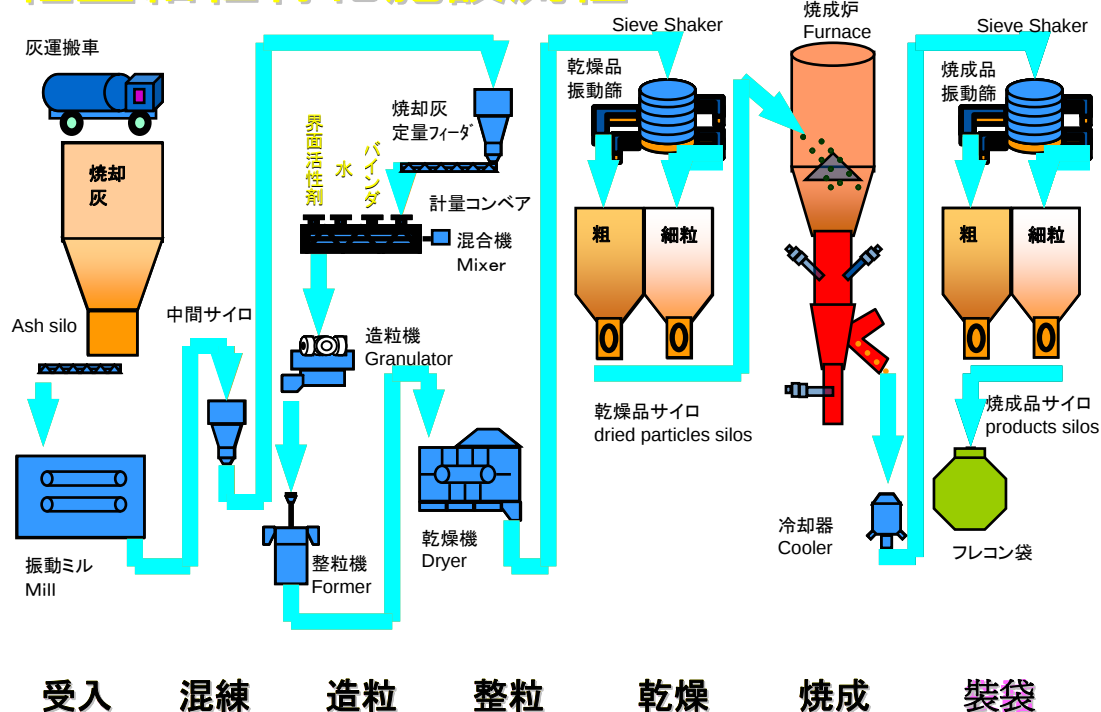
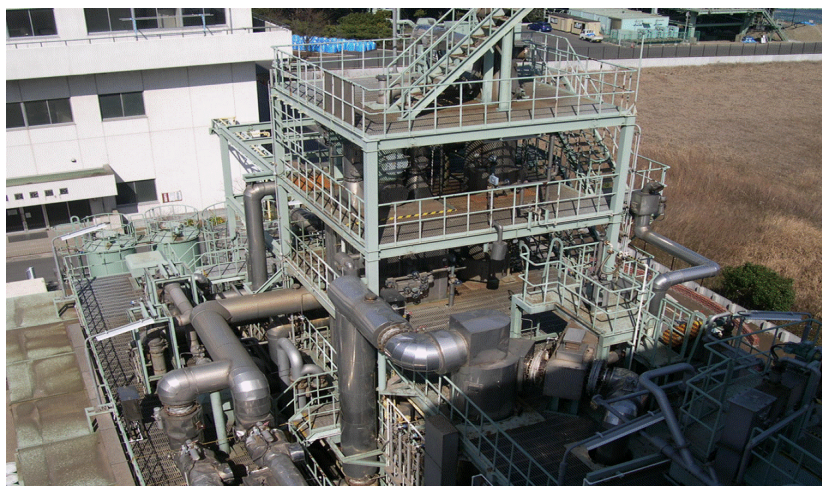


圖 16 日本下水污泥製作輕質材流程
（東京都政府下水道局南部汙泥處理工場）



照片 5 南部汙泥處理工廠設施全景

(五) 以膨脹頁岩產製構造用人工輕質骨材案例介紹

1. 製造公司：太平洋材料公司
2. 產品名稱：太平洋アサノライト
3. 用途：構造用人工輕量骨材
4. 原料來源：淡路島之膨脹頁岩礦區
5. 生產流程（圖 17）：土石採取（內田原料山）→運輸→碎解場→破碎→過篩→粗細骨材原料→裝船→運輸→大阪工場→添加助溶劑（石炭）→迴轉窯（1050~1100℃）→冷卻→過篩→成品（粗、細輕質骨材）→銷售

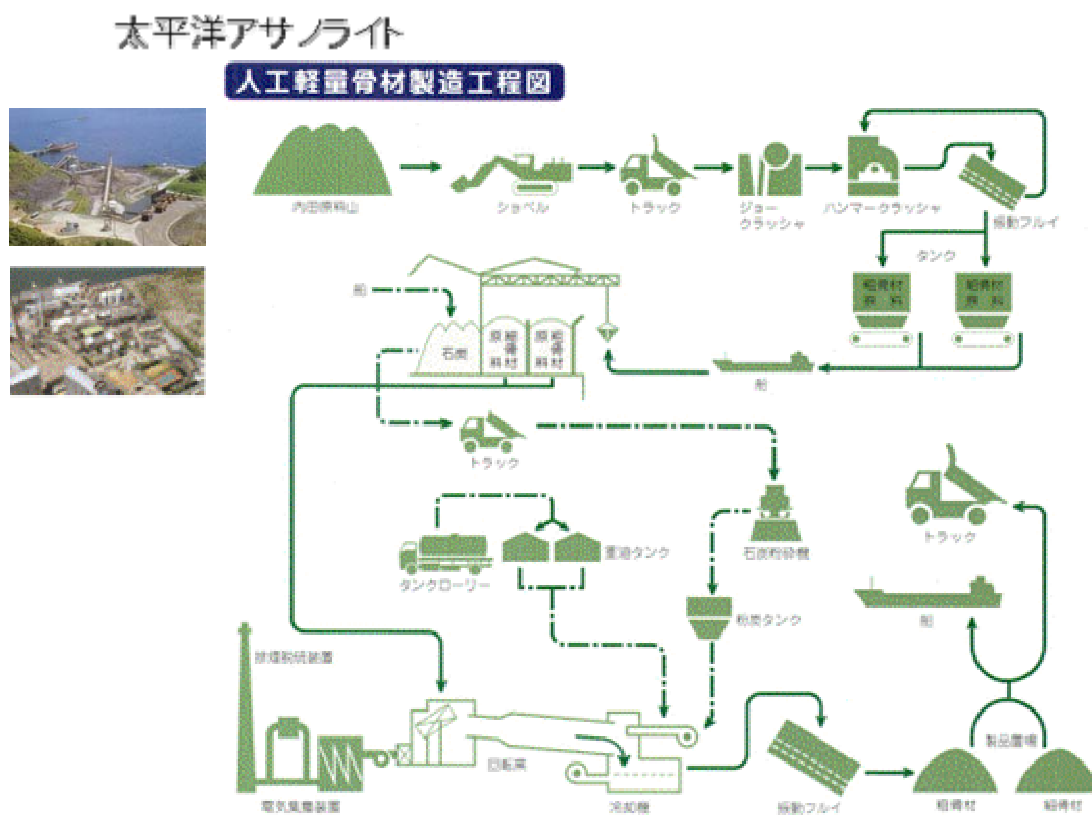


圖 17 日本太平洋材料公司生產輕質骨材アサノライト流程

6. 價格比較：(30000ton／年の試算)（表 11）

表 11 日本各類骨材售價

產品	人工輕量 骨材	碎石	再生碎石	污泥、浚渫 土輕量骨材
價格 (千元/噸)	13~14	2.5~3	2~2.5	20~26

參、研習心得

一、我國泥、土、砂、石、浚渫土處理體系初探

我國牽涉土石或土壤處理之法令體系，主要包括內政部所訂營建剩餘土石方處理方案、經濟部主管土石採取法、及行政院環就保護署主管之廢棄物清理法、海洋污染防治法等，其中海洋污染防治法就本課題而言，則規範海洋棄置（海拋）相關事項，目前港灣浚渫土除作回填材料用於造陸上，多依該法以海拋處理。至於土石採取法係規範土石開採事項，其開採標的物為具價值之砂石資源；廢棄物清理法則管轄廢棄物之處理，土石部分，則為事業所產生具有害之土石；營建剩餘土石方處理標的物則包括高、低或無價值之工程餘土，但不包括具污染性質之土壤或土石；因營建剩餘土石方處理中央尚未立法，故違法棄置之營建剩餘土石方，目前則依廢棄物清理法裁罰之。因此，土石方處理包括營建剩餘土石方處理方案、廢棄物清理法、及土石採取法三體系關係密切。

本次考察水庫、港灣淤砂回收作為土石資源利用研究，先就我國管理體系定義作一瞭解。土石採取法係自 92 年 2 月 6 日始公佈施行，其規範範圍包括陸上土石、河川及水域土石、濱海及海域土石等開採事項，依該法第 8 條第 2 項規定「水利主管機關為配合河川、水庫疏濬或河道整治，依水利法規定辦理土石採取者，不受本法規定之限制。」該條文原義雖將河川、水庫疏濬排除該法限制，惟該疏濬行為是否仍屬土石採取行為，以及如何規範後續處理，則未見進一步釐清。

另按內政部營建署前於 88 年 11 月 24 日 88 營署綜字第 65326 號函送研商「水庫、河川、給水廠、沉砂池等淤積泥土資源回收再生利用申請設置土資場疑義」會議紀錄所示：「按內政部於 86.1.18 函頒修正「營建廢棄土處理方案」之適用範圍：包括公共工程（含交通運輸、經濟水利、河川、水庫、水土保持之沉砂池、自來水給水廠沉澱池等工程）、建築工程及

建築物拆除工程施工所產生之廢土石方、磚瓦、混凝土塊等，係屬不會產生二次污染之有用剩餘土石資源。自應包括水庫、河川之沉砂池、給水廠沉澱池等淤積之泥土。…。依行政院環保署 88.8.18 環署廢字第 0055912 號函示，水庫淤積泥土並非屬廢棄物管理範疇；惟如挖除淤泥擬進行再利用，應詳細評估挖除過程對水庫水體產生之影響，及可能危害水源取用之安全。挖除淤泥之去向應追蹤，避免不當堆置造成水體二度污染。……」因此水庫浚渫土之處理，係以營建剩餘土石方處理相關規定辦理，實務上係以先行標售為主；如因屬劣質土無法標售，則按營建剩餘土石方規定進行處理及流向管制。

二、台日營建剩餘土石方處理情形比較與借鏡

- (一) 土質分類：日本建設發生土土質分類係以工程觀點，按土質承载力區分；我國營建剩餘土石方區分為 B1-B7，係依土石原生狀態觀點，區分為砂石、砂石+土壤之比例、沉土、黏土、磚瓦混凝土塊、淤泥、皂土等。分類方式各有優點，日本經驗可即為工程運用之參考，我國方式則能依原生材質辨別作為加工或運用之原料。
- (二) 管理體系架構：日本與我國目前皆無營建剩餘土石方處理專法，也都以政策計畫指導公共工程單位或地方政府執行營建剩餘土石方之處理。惟日本建設發生土除有單一政策計畫外，並另將其納入建設廢棄物資源回收政策計畫，成為統合之建設副產物政策，但該政策依據為資源回收再利用法，該法又與廢棄物處理法列管相同標的物，亦造成建設發生土處理及建設淤泥法令關係糾葛；我國營建剩餘土石方早稱廢棄土，也曾與廢棄物關係不明，行政院爰於 86 年召會協調釐清：「…營建廢棄土包括建築工程、公共工程及建築物拆除工程所產生之剩餘土石方、磚瓦、混凝土塊，為有用資源，非屬廢棄物範

圍……營建廢棄土如未能妥善處理，則形成一般廢棄物，應由各目的事業主管機關確實依照相關法規予以清理…」因此，我國營建剩餘土石方處理體系即外於廢棄物管理機制，惟因無專法管理，故非法棄置行為則依廢棄物清理法裁罰。雖然我國中央並無專法管理營建剩餘土石方，但訂有政策方案指導地方政府訂定自治條例或管理規定，或有公共工程主辦機關納入工程契約管制。我國雖於法令管制架構上較日本分工更為明確，但地方政府實務處理上，營建剩餘土石方、營建廢棄物及兩者混合物處理介面仍存有模糊空間，故行政院環境保護署自 94 年 7 月起，逐步採取申報營建廢棄物（含混合物）追蹤管制行動，漸漸釐清地方政府執行的模糊地帶。

（三）流向管制：日本對於建設發生土流向並無管制措施，載運亦無需憑證，惟建設廢棄物則需聯單簽收管制，雖無嚴重非法棄置問題，卻也如其行動計畫所載實態無法掌握、不適當處理等等問題，也提出法令檢討之議，但仍無立專法之打算。我國早因任意非法棄置營建剩餘土石方問題嚴重，且因無專法重罰，故參考廢棄物管理方式，考量工程管理運作，自 91 年起建置兩階段流向申報勾稽查核系統，並以聯單簽收措施佐以抽查方式管控流向，現階段申報比對統計管制作業已上軌道，惟實際運送收容現地管制，仍待加強，目前政策上以推廣建置收容處理場所遠距網路監控攝影系統因應，以期資訊申報管制與現地管制進行整合。

（四）工程間土石方交換：由於日本組織重整後，中央公共工程 9 成集中於國土交通省，交換協調介面較少，而我國中央公共工程則散見各部會，整合難度較高。日本早期係透過地方建設副產物連絡協調會協調工程間土石方交換，現以資訊網路提供訊息作為交換平台，土方直接交換約 26%。我國前於 92 年內政部營建署大力推動地方

政府成立土方協調小組，惟僅少數地方政府較為積極，成效尚待加強；目前透過發包後兩階段資訊申報系統資訊，由工程單位自行撮合及地方政府主動撮合，94 年工程土石方交換約 16%，仍有提升空間，其中南部地區工程缺土較為嚴重，部分縣市土方交換率達 40%。內政部為加強工程間土石方交換，另於 95 年 3 月訂定公共工程及公有建築工程土方交換利用要點，除規範交換作業事項外，另建置工程規劃設計階段產出、需用土石方資訊申報系統，以加強工程發包前之撮合交換行動。兩國目前皆運用網路資訊作為交換作業平台，方向一致。

- (五) 營建剩餘土石方整體處理政策：除上述個別分析項目外，日本對於營建剩餘土石方處理政策上有諸多方面值得借鏡。首先是工程土石方減量部分，加重了工程源頭端規劃設計者的責任，包括工程規劃設計時，建設發生土產出的抑制，並針對產出特殊土質（如淤泥或污泥），於末端處理採取繁複的脫水、焚燒減量技術，以期減輕收容處理場所容量飽和壓力；同時抑制需填土數量，減輕土石開採對自然環境的影響。另外為便於資源的利用，推動分別解體（拆除）措施，亦屬需要。並對再生資材應用技術的投入、研發皆值得我國參考。由於我國組織分工關係，公共工程審議機制屬行政院公共工程委員會及各部會所掌，未如日本多數公共工程皆為國土交通省管轄，故營建剩餘土石方處理政策由內政部營建署負責，多未涉獵工程源頭端規劃設計管制；為加強營建剩餘土石方減量政策推動，內政部業擬定營建剩餘土石方處理改善策略於 95 年 9 月陳報行政院，藉由跨部會行動，落實規劃設計階段審核功能，以進行土石方產出、填土需求的抑制、平衡、交換等整體思維。至於拆除工程工地營建剩餘土石方及廢棄物分類，目前營造廠雖基於有價資源價

格因素進行部分作為（如混凝土與鋼筋分類），仍乏法源全面推動。此外，再生材運用，依我國營建剩餘土石方定義範疇，包括淤泥及混凝土等，多作填埋或施工道鋪設，應用技術仍待提升。

（六）法制化行動：日本的檢討經驗指出，部分政策缺乏法令得強制力，惟該國期待檢討資源回收法令而無另立專法打算。我國目前已由內政部擬定「營建剩餘土石方處理法」草案於 95 年 3 月陳報行政院，藉由立法行動加強管理營建剩餘土石方，並對替代砂石資源的運用提供行動依據，其主要內容如下：

1. 推動公共工程化設計減量、平衡、交換運用。
2. 落實工地營建剩餘土石方與廢棄物分類，及工程拆除計畫管理。
3. 營建剩餘土石方分級管理，良質砂石資源授權解除不必要管制，充分補充砂石市場所需；其餘土質加強管理，並對淤泥處理建立規範。
4. 促進收容處理場所管理合理化。

（七）淤泥處理：目前我國淤泥處理主要方式包括曝曬、填海造陸、低窪地填埋等，其中河川、水庫浚渫土中，屬有價料材部分多以標售，剩餘淤泥承載力不足，含水量高，僅少數收容處理場所具曝曬或脫水設備，處理能力明顯不足。港灣浚渫土則另有鹽分問題，故多於沿海岸造陸或海拋處理。在處理制度上，一般民間業者申設土石方資源堆置處理場多無意願收容淤泥，因此，其處理若涉及大量淤泥時，宜由水利工程單位援引「營建剩餘土石方處理方案」規定，以自設、自審設置專用土石方資源堆置處理場方式辦理。至於日本東京都的經驗，於東京灣內設置海面處分場方式，因台灣多颱風暴潮，並無如東京灣條件優良之港灣，

加以海岸自然環境脆弱，生態豐富，本島自然海岸線比例據查僅餘 49%，填海造陸設處分場不得不慎重。惟可考量已有其他事業規劃目的之重大工程填海造陸計畫收容淤泥，如台北港建港計畫，預計收容該港港池浚渫土後，仍有餘裕，因此可再收容鄰近地區河川、水庫淤泥，屬短期淤泥處理最佳方案之一。

三、我國廢棄物管理體系簡介

我國對於廢棄物之管理，係依廢棄物清理法之相關規定辦理，而依廢棄物產生源之不同，可區分為以下各類：

一般廢棄物：由家戶或其他非事業所產生之垃圾、糞尿、動物屍體等，足以污染環境衛生之固體或液體廢棄物。

事業廢棄物：

1. 有害事業廢棄物：由事業所產生具有毒性、危險性，其濃度或數量足以影響人體健康或污染環境之廢棄物。
2. 一般事業廢棄物：由事業所產生有害事業廢棄物以外之廢棄物。

一般廢棄物之清理，原則由各縣市環保機關統籌辦理，如辦理一般廢棄物之回收、清除、處理及廢棄物稽查等相關工作，民眾應配合環保機關之規定辦理，惟涉及民眾私有土地、建築物、騎樓、進行拆除所產生建築廢棄物、化糞池之清理事項，則由民眾依法自行或委託妥善清除處理。

事業廢棄物之清理，係由事業自行負責妥善清除處理，其主要來源包括工業、農業、醫療、國防、營建及學校實驗室等各類事業所產生之廢棄物。環保署於 92 年針對事業廢棄物產生量推估值約為 2,220 萬公噸(不含營建廢棄物)，其中工業廢棄

物約 1574 萬公噸、農業廢棄物約 635 萬公噸、醫療廢棄物約 9.8 萬公噸及國防廢棄物 1.4 萬公噸。而在營建廢棄物部分，依據環保署營建空污費收費系統資料顯示，臺灣地區每年進行之各類營建工程約在 5 到 7 萬件之間，另依據相關研究調查報告，每年營建工程產出物(含剩餘土石方及營建混合物)約為 6,400 萬公噸 / 年，其中具可回收再利用之物質比例相當高。

環保署為加強廢棄物管理，於考量國情、民眾接受程度及環保意識等為前提下，不斷研擬推行系列重要政策，在一般廢棄物部分包括：

- (一) 陸續公告應回收廢棄物項目納入資源回收體系。
- (二) 限制使用塑膠袋及免洗餐具。
- (三) 限制物品過度包裝。
- (四) 推動機關及學校餐廳使用可重複清洗餐具。
- (五) 要求民眾配合將垃圾分 3 類等。

而在事業廢棄物改進管制事項則有：

將過去以遞送聯單管制廢棄物流向方式改由網路即申報。

- (一) 事業如欲將其廢棄物以再利用方式處理，應依所屬中央目的事業主管機關再利用相關規定進行再利用。
- (二) 公告指定一定規模事業應設置環保專責人員。
- (三) 持續公告擴大應上網申報廢棄物流向之事業範圍。
- (四) 公告指定應加裝即時定位追蹤系統(GPS)之廢棄物清運機具。
- (五) 以工地規模分階段擴大應上網申報營造業之範圍。

我國與日本向來關係密切，且兩國在廢棄物管理之歷程亦非常相似。經由本次研修課程，除瞭解到日本在廢棄物管理上的具體成效以外，更進一步與京都議定書、能源政策及資源回收等相結合，並設定中長期目標努力執行，值得我國參考及學

習。

四、台日營建廢棄物處理情形比較與借鏡

有關台日在營建廢棄物管理作為上，大致均依照相同的理念進行管理，亦即：

- (一) 營建廢棄物應由營造業負責妥善清除處理。
- (二) 營建廢棄物如欲以委託方式處理，則受託者必須具備相關許可文件。
- (三) 營建廢棄物之移動應有妥善管制，應由產出、清除、處理或再利用等各階段相關業者確認後，向主管機關申報。
- (四) 營建廢棄物應儘量納入資源回收體系，俾建立循環型社會，我國目前已完成之政策規畫如圖 18、19 所示。
- (五) 環保署已擬定 10 項再生建材產品品質國家標準(草案)，並已函送各相關部會參採運用，希藉由形成再生產品市場需求之助力，達成建立營建資源回收體系之目標。

此外，我國在廢棄物管理工作上，尚有較日本或其他先進國家進步之實績：

- (一) 我國因為資訊網路產業相關發達，對於事業廢棄物之管理，早已實施 e 化管理，以營造業之管理而言，如營造業所承攬之工地規模如符合環保署公告條件者，環保機關將會要求該營造業應以網路傳輸方式，申報其營建廢棄物產出情形及預定清理流向，而受託清除、處理或再利用之相關業者，亦應上網確認廢棄物收受情形，達成營建廢棄物從產出到處理完成，均有環保機關完整管制。
- (二) 環保署已針對載運有害事業廢棄物之清運機具公告應加裝即時定位追蹤系統(GPS)，以即時掌握有害廢棄物

之清運動向，如有進入警示區域之情形，環保署將可立即派員進行瞭解與必要之處理。



圖 18 我國營建資源再利用推動計畫執行構想

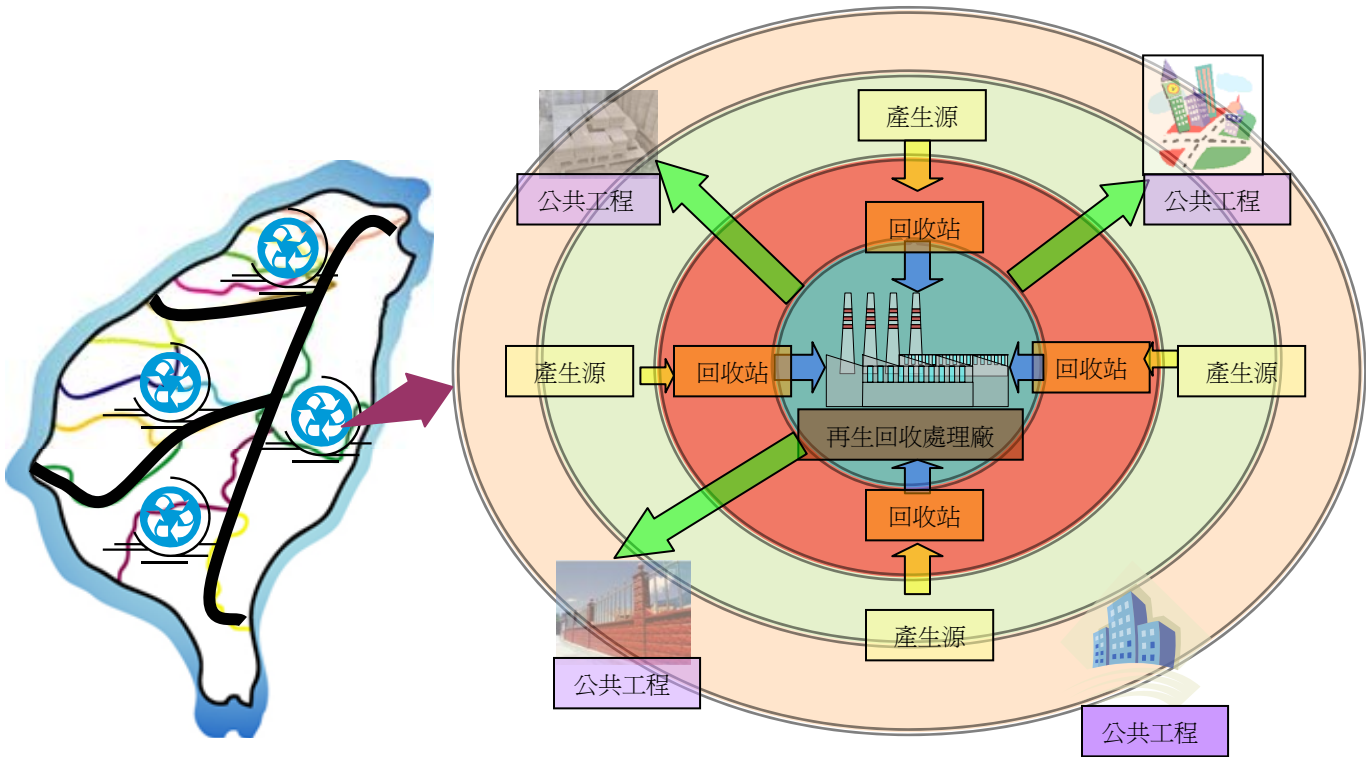


圖 19 我國未來營建資源回收體系

五、港灣、水庫淤泥（砂）資源再利用

（一）港灣、水庫淤泥（砂）資源處理

國外對於水庫與港灣淤積物的管理方式是多樣的。在 1970 年代之前，世界各國都把疏浚物（尤其是數量較多的港灣疏浚物）視為「廢棄物」，因此多採海洋棄置（海拋）的方式作為最終處置。但自從 1974 年倫敦海洋公約（London Convention）生效後，海洋環境保護的意識在全球快速高漲，將疏浚物視為廢棄物的觀念逐漸轉變為「資源」，對於疏浚物海洋棄置的處置方式也受到質疑與限制。

除少數水庫（如石岡壩）的浚渫物為可直接利用的砂、礫物質之外，大部分的水庫浚渫物均為粘土質的淤泥。由於此類淤泥具有粒度小（粘土顆粒含量多在 20 % 以上）、體積大、含水率高（80% 以上，為液限含水量的 1.2~2.0 倍）、塑性大、強度低、腐殖質含量高等特性，容易產生二次公害，若處置不當將對環境造成不利影響。因此，水庫清淤作業產生的大量淤泥，必須經過妥善的中間處理（亦即固/液分離）程序，才能成為有用的土方資源。

固液分離這個詞常用於化工行業，一般不用在水處理行業，主要原因是水處理面對的水中所含懸浮物濃度比較低，因此，常用沈澱、過濾等名稱直接表達。處理疏浚淤泥的常用方法可概分為物理法（濃縮、脫水）、化學法（固化）、熱處理（高溫燒結）等 3 種。分別說明如下：

1. 物理處理法

浚渫淤泥含有大量的水分，為了使其變為良好的材料，減少其中的水分含量是最為直接的方法。自然晾曬是最簡單的淤泥去水方法，但因受場地、時間和氣候等因素限制，實施較為困難。在國外，最為常見的是機械脫水工廠，就是採用離心脫水機或壓濾機等設備進行脫水。脫水法尤其是對高含水量的疏浚泥水比較有效。早期的機械脫水工廠的處理能力較小，難以適應大規模疏浚工程的需求，近幾年則已經開發出具有 400m³/h 脫水能力的機械。但機械脫水具有脫水工廠是固定式、一次

性投資較高，另一方面是經過脫水處理後的疏浚泥有時仍需要進行二次處理才能滿足工程要求的缺點。

淤泥物理處理法包括濃縮（thickening）與脫水（dewatering）兩個程序。濃縮是在沈澱池中利用自然重力沉降原理所進行的連續性固－液分離程序，通常是細粒淤泥脫水處理之前的一項必要處理過程。脫水則為利用機械方式將淤泥所含的水份過濾排出的程序。

（1）帶式壓濾機（Belt Filter Presses）

帶式壓濾機一般係用來對遭污染之疏浚物料進行脫水處理及對土壤清理業之微細粒子（ $< 63 \mu\text{m}$ ）物料進行脫水處理的普遍機具，為一種具有高容量處理及低操作成本的過濾設備。依據淤泥的特性及作業參數，此處理設備可將淤泥處理至含固率（重量百分比）40%至 60%。

（2）平板及框架式擠壓機（Plate and Frame Presses）

又稱為嵌壁式壓濾機（Recessed Chamber Filter Presses），這種機器對於淤泥的處理是採用整批方式作業，也可透過多重組合或平行裝置的組合方式，來達到連續處理的目的。淤泥被傳送至擠壓機的每一個內室（框架）中，其固體物會被留置於薄膜上，而水份也會就此穿過而產生過濾現象。過濾作業會在定好的不同壓力值下停止，過濾面板是開啓的，而已經脫水的泥餅也會卸下。這種型態的操作方式相較於帶式壓濾機，需要有較多的作業人力、因此投資成本與操作成本較高。然而，其固體物的回收能力也相對高出甚多，其高出部份係以其取得的泥餅百分比計算之。

（3）離心脫水機（Centrifuges）

以離心力為過濾原理的脫水機，係透過一稱為“玻璃瓶式組件”來進行。固體顆粒受離心力作用會集中在玻璃圓柱的壁面，再由一螺旋狀輸送器將其移出。雖然這種脫水機的操作成本較低，但並不適合用於處理砂質浚渫物，因為砂粒會對“玻璃瓶式組件”的內壁造成高度磨損，也因而

提高了機具的維護成本。

2. 化學處理法

淤泥的化學處理法也稱為固化處理法，就是在疏浚淤泥中添加固化材料，進行攪拌混合，製成淤泥固化土的方法，是從傳統的地基處理技術發展而來。在疏浚泥中添加固化材料，進行攪拌混合，通過孔隙水與固化材料發生水和反應使孔隙內的自由水變為結合水，另一方面加強了土粒子之間的結合力提高疏浚泥的強度。固化處理法所使用機械設備的處理能力可從小型的 $20\sim 30\text{m}^3/\text{h}$ 到大型的 $1,000\text{m}^3/\text{h}$ ，比較適合於各種規模、尤其是大量的疏浚泥處理工程。處理工廠可以設置為固定式，也可採用船載或車載設置的移動式，在施工上比較靈活。另一方面，固化處理可以根據處理土的使用目的調整固化材料的配方，一次處理達到地基所要求的承載力等性能。

固化處理的效果在很大程度上受到疏浚泥的性質、混合方法的影響，應根據每一工程疏浚泥的特點進行配方實驗。此法適用於處理大量的疏浚淤泥，在國外如日本、荷蘭、新加坡已被廣泛使用。正在建設的名古屋機場的填海工程就大量採用了固化處理法；日本東京也設有多處疏浚土處理中心，將疏浚淤泥通過固化處理後代替砂料等土石方材料利用，既保護了環境，又節約了大量的土石方資源。

根據阿公店水庫管理委員會民國 81 年元月「阿公店水庫淤砂固化再生利用計畫簡報資料」，由該委員會提供三種不同的水庫淤砂，分別採用上述前四種固化劑，徵求廠商進行不同成分與強度的固化試驗，並依其固化劑之用量與單價，估計不同強度的處理成本。結果顯示，處理價格雖因固化後之強度要求而有差異，但單價均在 $1,815\text{ 元}/\text{m}^3$ 至 $9,037\text{ 元}/\text{m}^3$ 單價比目前市場上混凝土的價格還高。

3. 熱處理方法

熱處理方法是通過加熱、燒結的方法將浚渫淤泥轉化為建築材料的方法。其原理可以分為燒結和熔融兩種。燒結是通過加熱 $800\sim 1200^\circ\text{C}$ ，使淤泥產生脫水、有機成分分解、粒子之

間粘結等效果。浚渫淤泥的含水量適宜的話可以用來製磚，也可作為水泥製品的原材料進行使用。熔融是通過加熱 1200～1500℃，使淤泥產生脫水、有機成分分解、無機礦物熔化的方法。熔漿通過冷卻處理可以製作成陶粒（輕質骨材），然後作為替代砂石或製成輕型陶土磚轉化為建築材料。這種處理方法的優點是成品的附加價值高，但其處理能力、對浚渫的成分要求和固定式的處理工廠使其應用受到一定的局限性。

港灣浚渫物常含有濃度不等的污染物質，其回收再利用面臨的問題是如何將其中的污染物質去除或使其安定。依據目的功能的不同，浚渫物污染物質的處理技術大致分為四類：

1. 將污染物分離 (Contaminant Separation)
2. 將污染物破壞 (Contaminant Destruction)
3. 污染物減量 (Contaminant Reduction)
4. 污染物安定化 (Contaminant Stabilization)

（二）水庫與港灣淤積物資源化途徑

水庫與港灣淤積物回收利用涉及的技術領域很廣，包括前端過程的淤積物特性調查評估（淤積物分布數量、物理化學性質、礦物組成）、中間過程的淤積物浚渫、搬運、儲存、固/液分離、以及後端過程的砂土再生利用等，日本先進之國家亦朝此方向辦理。

水庫與港灣淤積物的處理與處置應以「減量化」、「安定化」、「無害化」及「資源化」為基本原則。其中「資源化」是世界各國普遍採用的趨勢，本次參訪日本相關單位，亦是以「資源化」為中心，並稱 20 世紀是「消費型」社會，21 世紀是為「循環型」社會，達到「零」廢棄物，也是本計畫的主要研究目的。

水庫淤積物資源化的再利用方式，決定於淤積物的物理性質（如粒徑大小）及其化學成分（受污染程度及有機物含量）。過去國內學術研究單位曾對水庫淤泥的資源化技術做過許多研究，資源化的途徑主要分為下列幾類：

1. 直接作為營建骨材利用

- (1) 國內石岡壩之淤積物顆粒較粗，屬可直接再利用的有價物料。石岡壩之清淤於民國 73 年以公開招標方式，委託民間包商辦理浚渫，至民國 82 年 6 月止共辦理三期，每期三年，依合約規定每浚渫 1 立方公尺，包商須交給管理委員會 4 元，包商則將浚渫之淤泥經處理後做為骨材出售。合約期限之 9 年間，平均每年浚渫 172,665 立方公尺。
- (2) 石門水庫中上游段庫區（復興鄉羅浮至阿姆坪），於民國 72 年因淡水河全面禁止採砂石後，有 7 家曾經申請無償抽除淤砂之公司大量採取淤砂。該 7 家公司合計每年平均抽除淤砂 385 萬立方公尺，民國 78 年間水庫淤積量反而降低了 41.2 萬立方公尺。抽除之淤砂經處理後，做為骨材之用。無償抽除淤砂之契約於民國 78 年期滿，管理局為體念當初投資者之艱辛及已投入龐大資金，並對無償抽除淤砂廠商表示鼓勵，乃於民國 79 年起改為有償方式辦理。

2. 填方材料

- (1) 白河水庫於民國 89 至 92 年間以水力浚渫及陸面機械開挖方式清除的淤積物（約 70 萬 m^3 ），先堆置於大壩下游溢洪道兩側的臨時堆置場，後於 93 年轉運至南部科學園區當作基地填方料。
- (2) 大埔水庫民國 82、83 年及 85 年以機械開挖之淤泥，利用卡車運送到壩址上游約 7 公里處以高農地。
- (3) 阿公店水庫自民國 88 年開始利用機械開挖方式實施水庫疏浚，預計至民國 95 年止總共清淤 1,120 萬 m^3 ，其中 180 萬 m^3 及 600 萬 m^3 土方分別運至高雄科技大學作為校址基地的填築以及高雄永安開發計畫案填地。

3. 固化再利用

阿公店水庫管理委員會曾於民國 80 年間採取三種不同水庫的淤積物，分別使用 SST、多機能硬化劑、CTG、田口等固化劑，進行不同成份及強度目的之固化試驗，且依其固化劑之含量及單價，估計不同強度的固化處理成本。試驗結果顯示，水

庫淤積物的固化成本因處理產品強度的不同而異，大約在 1,815 元/ m³~9,037 元/ m³之間，較一般混凝土價格為高。

4. 製作人工魚礁

所謂人工魚礁係指將天然或人造的物體投放在海洋中，提供海中動植物良好的棲息場所，達到培育資源與增加漁產之目的。政府有鑑於各國紛紛設置二百海浬經濟海域的措施，對我國遠洋漁業產生莫大的衝擊，同時為謀求本國漁業之持續發展，自民國 62 年起即開始有計畫地展開設置魚礁培育資源工作，並已獲致相當的成效。但是由於受到人工魚礁設置成本太昂貴的限製，未能大規模設置，只能發揮點的效果而無法達到面的效果。將水庫清淤底泥予以固化後投置於海岸成為人工魚礁，不僅可解決浚渫物處置問題，還可降低漁礁成本，增加漁業資源。

5. 製作地工織管

成功大學水利系蔡長泰教授進行「地工織法」技術研究及推廣工作，已有多多年豐富經驗（「水庫清淤之研究(1~4)」，「建立水庫高效率排砂(1/4~2/4)」，水資源局(1996~2001)」。根據其前述報告整理成果，水利處第六河川局曾利用地工砂管作為鹽水溪上下游親水護岸之基礎工程，有不錯之成效。

地工織管係將地工織布縫成管狀，應用其本身高張力之特性，擠壓充填於其中之內容物，使其脫水並固化之地工類產品。地工織管具有下列特性：

- (1) 運用力學原理壓縮內容物，無化學變化產生。
- (2) 柔性構造，形狀可隨地形改變。
- (3) 機具簡便，施工快速，可大幅縮短工期。
- (4) 維護容易，無虞內部淘空。
- (5) 造價便宜，較傳統工法節省經費一半以上。
- (6) 可包裹之內容物粒徑達 0.06 公厘以下。

地工織管早在 1970 年代就由美國陸軍工兵團研發完成，目前已商業化並大量應用於護岸及環境保育方面，其袋體直徑約 1~4 公尺，長度可視需要任意調整。在水庫淤積清理作業時可

先將水庫淤泥抽（挖）至沉澱池或臨時堆置場，再填充至地工織管內運至適當地點作資源再利用。地工織管材料及縫製費每立方公尺約 450 元，充填費用（不含抽泥船及輸送管，共含末端壓力及進水等控制），一般土方每立方公尺約 35 元，而水庫細粒淤泥之價格每立方公尺約 70 元，因此地工織管之材料費、充填費（以細粒淤泥估價）及縫製費每立方公尺約 520 元。地工砂管（袋）的施工方式簡述如下：

- （1）地工砂管：應用地工砂管於海岸保護工法上，需先將欲保護之海岸線整平，再鋪上防沖刷毯防止底部被海水沖刷，影響地工砂管之穩定，最後將地工砂管鋪設於上防沖刷毯，再將水庫送出之淤泥砂袋裝填入地工砂管中。最後配合施作植生網植生，形成自然的人工砂丘景觀；或於地工砂管上方覆蓋混凝土塊而形成防波堤或河堤。
- （2）地工砂袋：若欲保護之海岸線高程在平均海水面下，無法直接在海中施工之情況下，則使用地工砂袋施作海岸保護工，可利用高潮位佈放上層之砂袋。

6. 製作壓密固結磚

將淤積泥砂乾燥脫水至適當含水量，加入一定比例的飛灰，拌合均勻成一混合物，並使該混合物之含水量低於 20%，然後置入一預定形狀容器中，加壓成一塊狀物，再將該塊狀物置於濕潤的環境養生，以增加其抗壓強度。利用阿公店水庫淤砂為原料，進行壓密固結試驗結果顯示，成品試體經不同控制時間的水中浸沒後，其抗壓強度可達 360psi，經適當的製程環境控制，其強度最大可達 1,050psi。

7. 製作人工輕質骨材：

輕質骨材係指堆積密度小於 $1,200\text{kg/m}^3$ 的一種外殼堅硬呈棕褐色，內部具有封閉式微孔結構的混凝土用多孔粒狀物（或稱陶粒）。輕質骨材具有重量輕、強度夠、絕熱、吸音、耐蝕、抗震等多種優良物理性質，在歷經一個世紀的產業技術發展後，今日的輕質骨材已成功地被應用在超過 50 種不同的用途上。特別是以人工輕質骨材拌製成的輕質骨材混凝土具有較常

重混凝土大得多的強重比，在結構效能與經濟效益考量下，許多先進國家已將輕質骨材廣泛地應用在圬工混凝土、高樓結構混凝土、高性能混凝土、大跨距橋面板、預鑄與預應力混凝土構件、瀝青道路鋪面、地工回填以及海域採油平台等工程。依據來源之不同，輕質骨材分為天然輕質骨材（如火山渣、多孔凝灰岩、浮石等）、工業廢料輕質骨材（如粉煤灰陶粒、窯燒飛灰、爐石等）及人造輕質骨材等三類。早在 1913 年，美國首先利用迴轉窯（rotary kiln）燒製頁岩陶粒，當作營建工程的人造輕質骨材，為解決普通混凝土質量大的缺點，邁出了第一步，此後利用此頁岩陶粒當作人造輕質骨材以配製輕質混凝土的技術迅速發展。

人造輕質骨材（中國大陸稱為陶粒）的種類很多，常見的有黏土陶粒、頁岩陶粒、粉煤灰陶粒、超輕陶粒、膨脹珍珠岩等，其生產技術一般包括原料加工、造粒（或成球）、熱加工等過程。因原材料組成及加熱方法之不同，人造輕質骨材的生產技術可分為煅燒型輕質骨材和非煅燒型輕質骨材兩大類，前者又可細分為燒脹型輕質骨材及燒結型輕質骨材兩種。燒脹型陶粒包括黏土陶粒、頁岩陶粒、超輕陶粒和膨脹珍珠岩輕質骨材等。黏土陶粒和超輕陶粒是以黏土及亞黏土為主要原料，經加工、造粒、燒脹而成的輕質骨材。此兩種陶粒的造粒方法有塑化法與粉磨成球法兩種。至於頁岩陶粒則是以黏土質頁岩或板岩為原材料，經加工造粒、燒脹而成。

理論上，頁岩、板岩、泥岩、粘土和沉泥等原料，經由燒膨或燒結過程，都可製成結構用混凝土的輕質粒料。臺灣的水庫壩體大多興建於西部麓山地帶，其上游集水區所分布的岩層主要是由未變質的砂岩、頁岩、泥岩以及輕度變質的硬頁岩和板岩所構成。以此類岩石為來源所生成的水庫淤泥為臺灣特有而被淹沒的優良地質材料，可回收利用於建築材料、工程填方料及農業有機土壤等。根據國內學術單位過去的研究結果顯示，大部分水庫淤泥的化學成分與礦物組成（特別是粘土礦物）能滿足高溫焙燒膨脹所需具備的原料配方條件，透過適當的製

程技術，可將此淤泥焙燒成高經濟價值的輕質骨材。

8. 農地砂石開採回填及農地改良

農地砂石採取以河川區外農地原屬舊河道沖積扇礫石層最具開採價值，一般而言可採區距離河川整治線不遠，上中下游的原砂、礫石質量與含泥量有關，含泥量越高價值越低，單就骨材品質而言，農地砂石的經濟效益仍然高於坡地砂石與碎石母岩。

平地（農地）砂石通常規劃在人口稀疏偏僻區域，非屬環境敏感與特定目的的區位，自然與人文資源價值低，平地之農地砂石開採，採取深度 10 公尺(超過 10 公尺必須附鑽探報告)，開採後隨即進行回填整復恢復原本地形地貌，基本上對環境之影響層面較坡地開發小、影響程度低，且影響時間亦較短。非都市土地可容許採石者為農牧用地、林業用地、礦業用地與窯業用地。有砂石賦存具有開採價值，編定屬非都市土地一般農業區之農牧用地，砂石採罄後其基地應整復回填並能供原來用途使用。但經土質改良後土地可改作為種植高附加價值之農產品，並可結合觀光遊憩發展成為「觀光農業專業區」，提昇土地二次利用價值。若配合砂石資源之開採，採掘基地形成人工湖，就近引入山溪水源，儲存豐水期之逕流水，以發揮蓄水防洪、供水、地下水補注及遊憩等多目標功能，其原表土則可作為本區其他採掘基地之回填料，農委會之「農塘計畫」，以不須以土石採取許可之採取行為，增加水資源並解決水資源不足之問題。農塘係指在低窪地區或溪流適當地點，構築堤壩攔蓄逕流，以提供農業等用水改進附近環境，供休閒、遊憩之用，其包含築壩式農塘、開挖式或離槽式農塘。高雄市壽山的台灣水泥公司，於採石場之採掘基地整復、綠化及鄰近之自然崩場地整理後，土地二次利用成為市民登山去處並規劃為住宅社區；林口特定區保護區被盜採砂石區經政府規劃為土石專用區，且委託工研院能資所規劃該區土地之二次利用，352 公頃劃分為 54.3 公頃住宅區、23 公頃工商綜合區、市鎮公園 18 公頃、原野樂園 41 公頃、保護區 179.4 公頃等，為我國陸上砂石

採取場之跡地土地二次利用預為規劃之首例。

大埔水庫民國 85 年清淤之浚渫物曾用來填平數十戶農家的低窪農地，填平後作物所利用之土壤主要為水庫疏浚物。根據現況調查，目前填平之農地上主要種植水稻及橘子，且各戶農家之產量高低不一。除了土壤質地外，土壤團粒化的現象亦直接影響土壤之保水力及保肥能力，有些農家曾放任填平之農地曝曬半年至一年，以增加土壤的團粒化，故產生較佳的作物產量。

9. CLSM 材料之應用

CLSM 一般更被定義為一種 28 天抗壓強度不超過 1,200 psi (約 84 kg/cm²) 的混凝土，是以膠結料、水、砂、石、卜作嵐材料以及特殊參料等，透過配比設計的技術，拌製成可便利將來以人工或機具方式再開挖的超低強度水泥質材料，其組成材料與混凝土相似，但對於組成材料的要求，卻無製造混凝土材料般的嚴苛規定。就使用之膠結料來說，為能提供 CLSM 凝聚性及強度的來源，通常選擇使用符合 ASTM C150 規定的波特蘭 I 型水泥，但其他地盤改良所使用的固化劑也可接受。而飛灰、爐石等卜作嵐材料，則是添加為改善流動性、降低泌水，減少成本的方法，迥異於一般混凝土中，添加爐石、飛灰，是為增加晚期強度、減少收縮以及降低水化熱等訴求。

肆、結論與建議

- 一、港灣浚渫土因含鹽分問題，並不利於內陸處理，短期仍以海岸地區填海造陸處理或海拋為宜。至於河川、水庫浚渫土，以往在營建剩餘土石方與廢棄物二分思維中，暫以營建剩餘土石方處理為主，惟其性質與一般內陸工程營建剩餘土石方土質差異甚鉅，加以含水量過高，待清淤數量龐大，遠非地方政府核准收容處理場所得以兼顧。因此，河川、水庫浚渫土處理方式可重新思索，管理架構方向除考量依循營建剩餘土石方處理體系及方式外，可另檢討是否界定為土石採取行為，而由土石採取法或水利法另行授權訂定處理體系，亦可由資源回收再利用法觀點，訂定管理辦法處理，藉由三者管理體系方向釐清，檢討我國河川、水庫浚渫土最適之處理體系。
- 二、廢棄物管理工作在過去的思維印象中，屬於對已造成污染進行善後及管末處理的工作，然而目前資源永續利用已蔚為全世界積極主流觀念，而在此全球潮流的引領下，以使廢棄物管理工作的概念，從「搖籃到墳墓」(Cradle to the Grave)變成「從搖籃到大門口」(Cradle to the Gate)，而「大門口」即表達了廢棄物中的可再利用性，此亦為我國近年來執行廢棄物管理課題上的宗旨，不僅向前推至生產製造階段，亦向後推演至資源回收再利用行為。
- 三、水庫與港灣疏浚產出的淤積物屬無毒、無害的資源，應充分加以回收利用。但因浚渫淤積物的體積龐大、水份高且富含黏土及有機物質，搬運不易且處理困難，現有的合法收容場所（如土資場、砂石場及磚瓦窯場）均無處理高含水量淤泥的機具設備，造成浚渫淤泥無處可去的困境。水庫淤積砂、泥回收再利用涉及的主管機關繁多，包括中央的行政院環保署、公共工程委員會、農委會、內政部營建署、經濟部水利署、礦務局、工業局，地方直轄市、縣市

政府、及各水庫管理機關等，涉及法令繁多，應責成成立專責機構，統一事權，促進港灣水庫淤積物清除與資源再利用。

四、水庫清淤產生的疏浚泥經過適當的處理過程後，都可成為適用於營建工程的土方資源，應充分加以回收利用。建議相關主管機關持續對淤積嚴重的水庫進行淤積物的廣泛且深入研究，依據各水庫的淤積物特性，研發其適當的再利用工法，使其成為新的土工材料。

五、促進水庫淤泥回收作為土方資源利用目前遭遇的主要課題，在於如何以最有效且經濟的中間處理方式去除淤泥所含的水分。由於水庫（特別是石門水庫）淤泥是由顆粒細微的粘土質沈積物所組成，不易將其中的固體與液體分離。建議由水庫清淤管理機關針對水庫淤泥的物理、化學及礦物特性，研究開發一組最適化的整合性固－液分離系統（其中應包含自然沉降、添加凝結劑或絮凝劑、機械脫水、化學固化或熱處理等單元），並進行實際應用試驗。

六、水庫淤泥（砂）資源化的過程包括浚渫（抽泥）、中間處理（脫水）及再利用三階段。過去 20 年，石門水庫清淤計畫的實施方法是以工程招標方式，委託一家民間公司承包施工，該清淤計畫著重於浚渫工程，而忽略了中間處理過程，以致於清出的大量淤泥雖然經過十數年的沈澱堆置，仍無法使該淤泥乾燥成可利用的疏浚土，也導致浚渫工程無法再順利進行。基於水庫浚渫物應充分回收利用的基本原則，建議石門水庫未來的清淤計畫可選擇下列兩種方式之一實施：

（一）政府編列預算，由水庫主管機關採取最有利標方式，透過嚴謹的技術審查，徵選兼具浚渫、中間處理及再生利用等三項技術與能力的廠商或執行團隊，委託執行水庫清淤與淤積物再利用整合計畫。

（二）政府編列預算，以公開招標方式，委託廠商進行水庫浚渫；另以 BOT 方式，遴選廠商在現有的沈澱池土地上興

建淤泥脫水處理廠，收受水庫浚渫淤泥，將淤泥處理成可利用的疏浚土，再以「有價物料」標售的方式，銷售給下游的各種再利用廠商。

- 七、輕質骨材為具有低容重、隔音、絕熱、節能、抗震、耐蝕等多種優良物理特性的綠色建築材料，特別適用於位處亞熱帶氣候區且地震頻繁的台灣。受先天地質條件的限制，台灣地區有多樣且豐富的人造輕質骨材原料，可資利用的原料包括頁岩、板岩、千枚岩、泥岩、煤矸石（採煤廢礦石）、水庫淤泥、淨水廠淤泥、下水道污泥、港灣淤泥、石材加工污泥、燃煤電廠飛灰和底灰等。人造輕質骨材的生產成本雖高，但因其同時具有多種特殊功能性，不但用途廣泛，且有相當的結構效能，為極具經濟效益的替代砂石，建議主辦機關積極加以研發利用。
- 八、港灣淤積物的性質複雜，部分淤積物可能已受到不除污染物質或使其安定）。先進國家已開發的港灣污染淤積物處理新技術包括：熱分離、流化體床處理、電漿玻璃化、基觸媒分解、土壤洗滌、固化安定、機製土壤、建築用製品等八種。由於各港灣淤積物的特性差異極大，其適合的處理技術也不一致。建議港務管理機關應精確掌握淤積物的物理與化學特性，並深入評估上述各種技術的功能特性、製程、受到的限制及成本，再選擇最適化的淤泥處理方法。
- 九、建立港灣水庫清淤及再利用資訊通報系統，供主政及相關單位業務參考及掌握。
- 十、從本次研修課程中，有幸瞭解到日本政府對於環境及資源管理的理念，同時結合了下水道建設、生物質利用政策、二氧化碳削減政策等，所定長期性縝密而周延的計畫及評估作為，非常值得我國參考與學習；進而聯想到建構適合我國民情的循環型社會亦是刻不容緩的長期工作，亦須由政府統合各機關的行政資源，以法制化、系統化、制度化、明確化，更重要的是以一步一腳印的方式，實實在在去執行，才會有所成就。

附錄 1 參訪照片



2006.8.21 始業式與國際建設技術協會
宗次長駿好、德滿千春小姐合影



2006.8.22 與太平洋土壤公司
藤井部長二三夫、道端秀治先生合影



2006.8.23 與國土交通省都市地域整備局
伊藤組長貴輝合影



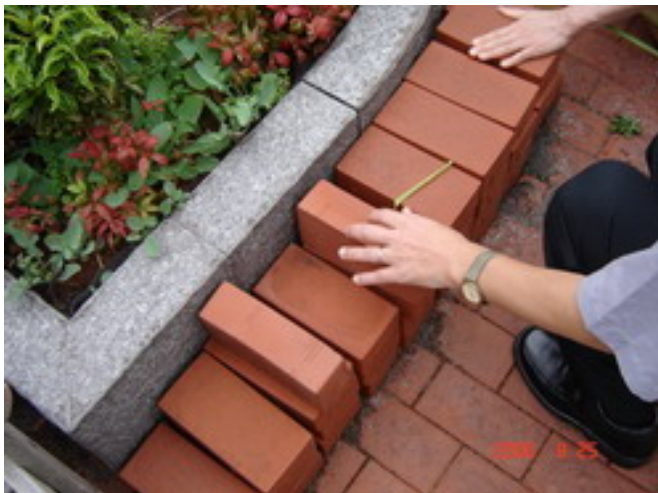
2006.8.24 與東京都政府港灣局
西田次席幹雄合影



2006.8.25 參訪東京都政府下水道局
南部污水處理廠意見交流



2006.8.25 參訪東京都政府下水道局南部污水處理廠(辦公大樓頂樓防水、美化過程)



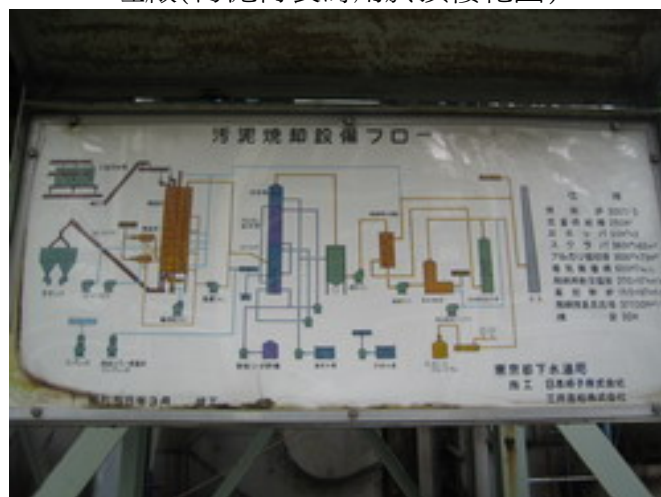
2006.8.25 參訪東京都政府下水道局南部污水處理廠(污泥再製磚成品)



2006.8.25 參訪東京都政府下水道局南部污水處理廠(污泥再製磚用於頂樓花園)



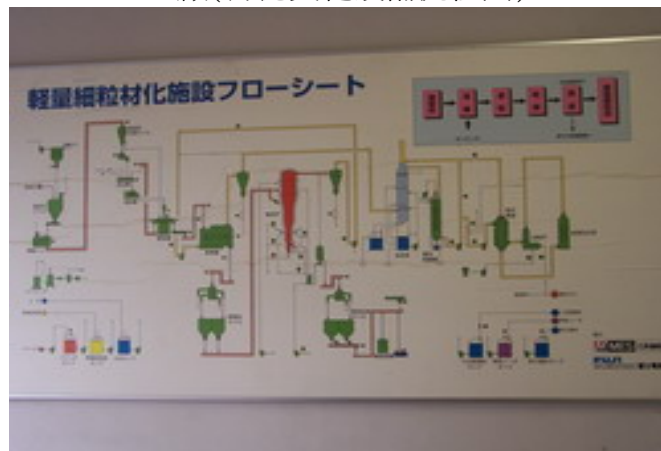
2006.8.25 參訪東京都政府下水道局南部污水處理廠(廠區配置圖)



2006.8.25 參訪東京都政府下水道局南部污水處理廠(污泥焚化設備流程圖)



2006.8.25 參訪東京都政府下水道局南部污水處理廠(1號污泥焚化爐流程圖)



2006.8.25 參訪東京都政府下水道局南部污水處理廠(輕質骨材燒製設備流程圖)



2006.8.25 參訪東京都政府下水道局南部污水處理廠(輕質骨材燒製爐出料口)



2006.8.25 參訪東京都政府下水道局南部污水處理廠(輕質骨材成品)



2006.8.25 參訪東京都政府下水道局南部污水處理廠(輕質骨材成品取料)



2006.8.25 與東京都政府下水道局榎本組長悅男合影



2006.8.28 參訪鴻池組株式會社岩田課長文吾等社進行意見交流



2006.8.28 參訪鴻池組株式會社進行意見交流



2006.8.29 參訪太平洋材料公司進行意見交流



2006.8.29 參訪太平洋材料公司進行意見交流



2006.8.30 參訪金澤大學、熊谷組株式會社、
Sophia 株式會社進行意見交流



2006.8.30 參訪金澤大學、熊谷組株式會社、
Sophia 株式會社進行意見交流



2006.8.30 參訪金澤大學、熊谷組株式會社、
Sophia 株式會社進行意見交流

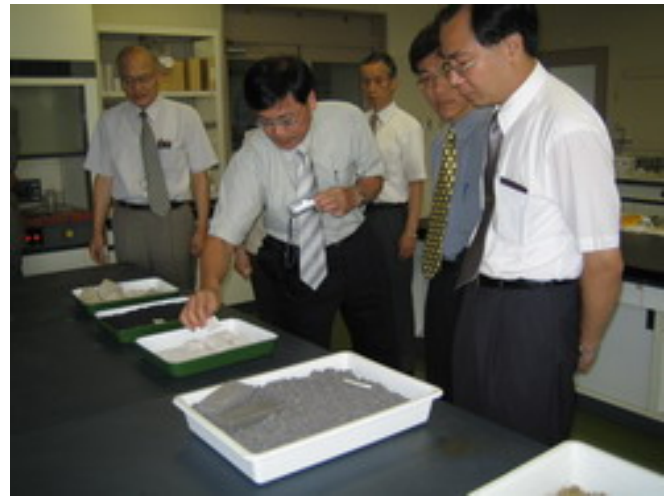


2006.8.30 與金澤大學奈良社長俊彥、熊谷組株式會社內藤副部長敏、Sophia 株式會社池田社長穗高及環 TECHS 株式會社龜山社長敏治等合

影



2006.8.31 參訪石川縣工業試驗場進行意見交流



2006.8.31 參訪石川縣工業試驗場
(輕質骨材原料及樣品)



2006.8.31 參訪石川縣工業試驗場
(輕質骨材原料及樣品)



2006.8.31 參訪石川縣工業試驗場
(輕質骨材樣品)



2006.8.31 參訪石川縣工業試驗場
(輕質骨材樣品)



2006.8.31 參訪石川縣工業試驗場
(輕質骨材原料)



2006.8.31 參訪石川縣工業試驗場
(輕質骨材原料)



2006.8.31 參訪石川縣工業試驗場
(輕質骨材原料)



2006.8.31 參訪石川縣工業試驗場進行意見交流



2006.8.31 參訪石川縣工業試驗場進行意見交流



2006.8.31 與石川縣工業試驗場有田場長良兒、
宮本所長正規、坂谷勝明先生、中村靜夫先生等
合影



2006.9.1 與國土交通省總合政策局田中倫英先
生進行意見交流



2006.9.1 與國土交通省總合政策局田中倫英先生進行意見交流



2006.9.2 賦歸



附錄 2：

課程參考資料

- 一、土質改良 TW 工法介紹 （TW 工法研究會）
- 二、軟弱土固化處理介紹 （固化處理工法研究會）
- 三、MUDIX 工法介紹 （泥土處理研究會）
- 四、ARM 工法介紹 （太平洋 Soil 株式會社）
- 五、e-Technology （太平洋 Soil 株式會社）
- 六、社團法人國際建設技術協會（IDI）簡介