

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

計畫編號：NSC 90-2621-Z-002-024

執行期限：90年8月1日至91年7月31日

主持人：於幼華 國立台灣大學環境工程學研究所

共同主持人：張慶源、李育明、沈得縣、闕蓓德

總計畫參與人員：蕭登元

一.中文摘要

砂石骨材是工程建設不可或缺之一項材料資源，就其產量言，自西元1988年迄今，乃高居台灣地區礦產量的第一位，是一項最大宗的國內資源投入。但因多年大量採掘利用結果，原河川砂石所蘊藏之可採量現時已幾被耗盡，而且因濫採所導致的環境破壞更成為台灣地區的特殊問題。

為求國家永續發展，首先必須講求自然資源的妥善利用，是故，本研究乃針對台灣地區的砂石利用課題，以工業生態學(IE)中物質流分析(MFA)的理論基礎，從台灣地區砂石蘊藏、供給、平均每人和單位土地面積建築砂石需求量、總砂石需求(TAR)、進出口量、歷年砂石使用密集度(IU)、使用效率(EU)與建築廢棄混凝土回收等面向一一探討與整理。

關鍵字：砂石骨材，永續發展，工業生態學，物質流分析

Abstract

Recent decades of sustained economic and industrial development, have accelerated construction activity and led to significant growth in the demand for construction aggregates in Taiwan. Resulting shortages in the domestic supply of construction aggregates have forced the Republic of China (R.O.C.) government to attend to protect minable reserves from stealing unlawfully. To guide this activity, material flows analysis (MFA), which is based on the Industrial Ecology (IE) model, which advocates a systematic source view and industrial material sinks, as well as the web of economic enterprises that influence their flows through the economy, is proposed herein. This study was conducted to show the deposits, domestic supply, demand, per capita

and per unit area demand of construction aggregates, total construction aggregates requirements (TAR), import, export, intensity (IU) and efficiency (EU) of use for construction aggregates in Taiwan.

Keywords : Construction aggregates, Sustainable development, Industrial ecology (IE), Material flows analysis (MFA)

二.研究方法

本研究主要的研究方法為物質流分析：主要是用來建立與收集建築砂石之蘊藏量、可採量、供需量、進出口量、廢棄量、回收量等相關數值之基本資料。

物質流分析，依一般之界定，係屬環境會計帳中實物分析之一支，其內容主要是就某一經濟體或某一地區，針對其投入及產出之物質進行實質之盤查，以分析該經濟體或該地區平均之物質投入產出概況，進而得出永續發展之相關指標。概括而言，一個地區或經濟體其物質耗用程度可由以下幾點評定：物質消耗的總體積、總體積的組成、如何隨時間改變、造成變化的原因為何、國外進口原始物質量與大規模物質回收的情形。因此，物質流可利用投入產出的觀念進行量化分析，亦即物質（資源）的投入應該滿足能源供給、社會結構需求和民眾生活供給；污染排放和物質剩餘則為物質流系統之產出。

三、研究結果

3.1 台灣地區砂石資源蘊藏量、可採量、供需量與進出口量之探討

台灣地區砂石資源依其蘊藏地點可分為河川砂石、陸上砂石與海域砂石等三大類，其定義為河川砂石，指位於河川水域內之砂及礫石；陸地砂石，指位於海岸高

潮現以上及河川區域以外之陸地所賦存之砂及礫石，又依其地點亦可區分為平地砂石及山區或坡地砂石；海域砂石，指位於高潮線以下海岸及海底之砂及礫石。

台灣省礦務局（西元1999年7月1日精省後已更名為經濟部礦務局）依政府統計法之規定，定期每月辦理台灣地區砂土石產銷調查，調查範圍主要是以台灣地區各縣市為調查區域，對象則以土石採取區與碎石洗選場為主；其他調查體系單位則配合專案計畫進行研究。以往台灣地區砂石生產量之統計，係由砂石業者及廠家自行填報資料，但因砂石採取業者在規避賦稅的心理因素及大部分地方縣府機關對此項業務不甚重視之下，再加上非法者之濫採、盜採和許多建築工程非法的就地取材，使得生產統計數字的正確度與可信度令人存疑。經濟部礦業司遂於西元1992年開始回顧彙整台灣省礦務局歷年調查之砂土石生產量統計數字，以確實掌握全台灣地區建築砂石供應情形。本研究將台灣地區建築砂石資源主要可供應來源之蘊藏量、歷年生產數量與需求量彙整如下：

表 1 台灣地區砂石資源蘊藏量與西元 1998 年後可採量

來源	蘊藏量或種類	1998 年後可採量			
		佳品質	中品質	劣品質	合計
河川砂石	4292.65	449	-	-	449+(20.1/年)
	河川補充砂	-	-	20.1/年	
陸上砂石	137770	37732	14232	-	51964
海域砂石	48400-243000	-	1123	3448	4571
替代料源與其他	水庫淤砂	-	-	282	282+(19.2/年)
	水庫補充砂	-	-	10.1/年	
	港砂	-	-	1.9/年	
	爐石	2.6/年	0.7/年	-	
	煤灰(含飛底灰)	-	-	1.7/年	
	營建廢棄混凝土中砂石骨材可回收		2.2/年		

註：1.本表單位為：百萬公噸。2.海域砂石可採量以經濟部中央地質調查所之一公尺開採厚度計算。3.砂石料源依種類不同，而有不同之用途。4.河川補充砂係指劣品質之淤砂。5.營建廢棄混凝土中砂石骨材可回收量因目前無正確細分品質之技術，故暫將其歸類為中品質。

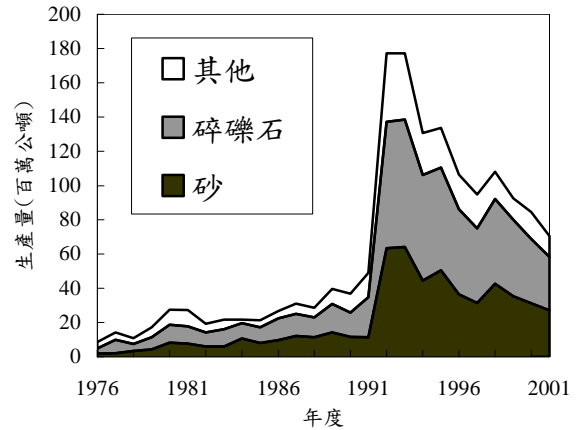


圖 1 台灣地區歷年砂石生產數量統計圖

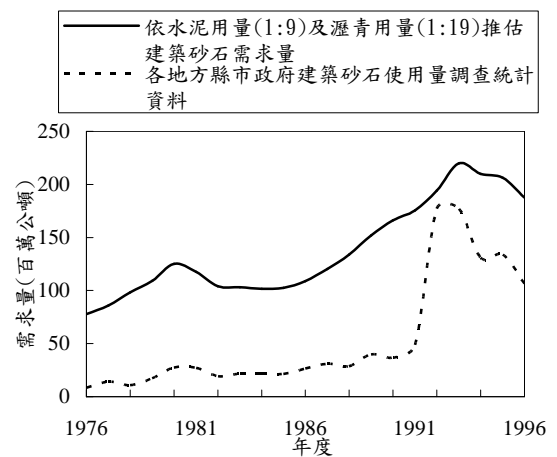


圖 2 依水泥及瀝青用量推估之建築砂石需求量與各地方縣市政府調查數據比較圖

台灣地區建築砂石需求量依水泥及瀝青用量推估之資料，近幾年皆平均維持在 2 億 1 千萬公噸左右，其中有 95% 係由河川採掘供應，近來中央水利單位已明確訂出西元 2003 年時，國內河川砂石供應比例將降至 50% 水準，西元 2006 年再降至 30% 水準，但工程建設不斷在進行著，此時政府主管機關與業者不能只顧著「開源」，而是要回過頭來「節流」，以尋求建築砂石的最佳使用與善用。

3.2 台灣地區建築砂石使用密集度(IU)與使用效率(EU)分析

物質流帳是對應於經濟帳，以實體為基礎且有系統地對經濟體系作永續發展的檢測與評估方法。在 World Resources Institute (WRI) 研究中透過追蹤提煉萃取、生產、製造、使用、回收及最終處置過程

找出物質耗用的情形，WRI 發展出一項指標－總物質需求 (Total Materials Requirement, TMR)修正過去並未考慮隱藏流評估物質使用效率的指標。而本研究以單項物質－建築砂石為研究對象，故另定義總建築砂石需求 (Total Construction Aggregates Requirement, TAR) TAR 的計算方式如下：

$$TAR = D_p + H_d + IM + H_f$$

其中 D_p 為國內自產建築砂石量； H_d 為國內自產建築砂石伴隨之隱藏流； IM 為國外進口建築砂石量； H_f 為來自國外進口建築砂石的隱藏流。

在國內自產建築砂石部分與國外進口建築砂石部份，以經濟部礦業司與經濟部國貿局所公佈之統計數字為依據，TAR 中加計來自國外的隱藏流，可表達其他國家提供其自然資源以支持本國經濟發展所額外付出之環境成本與犧牲，在經濟活動全球化日益活躍時，這項數字勢必愈來愈大，故在評估建築砂石使用密集度(IU)與使用效率(EU)時將不容忽視。計算 TAR 時並不把建築砂石出口值扣除以反應最大之需求面。

至於在隱藏流之估計方法方面，因為物質流方面的研究在台灣是新的研究，故要準確地估計隱藏流，實際上是有困難的。故，在做法上，本研究先行找尋台灣文獻中有無相關研究，以及公家機關委託研究及學術單位所做實地作業與探勘研究中，有無可供利用資料。由文獻與實地作業記錄中發現，建築砂石隱藏流可以含泥量與處理損失計算。其估算結果為扣除 25% 含泥量與處理損失，故換算為開採每公噸建築砂石有 0.33 公噸的隱藏流。另外在國際貿易中進出口建築砂石之隱藏流估計部份，對於進口建築砂石之隱藏流部分，本研究暫採用確有實際資料的荷蘭與德國每公噸進口建築砂石所伴隨之平均隱藏流值為依據，對於出口建築砂石之隱藏流部分，本研究暫採用確有實際資料的荷蘭每公噸出口建築砂石所伴隨之平均隱藏流值為依據，並計算出西元 1989-2000 年台灣地區進出口建築砂石之所伴隨之平均隱藏流，未來可改採用實際來源國的隱藏流估計方法為計算依據。

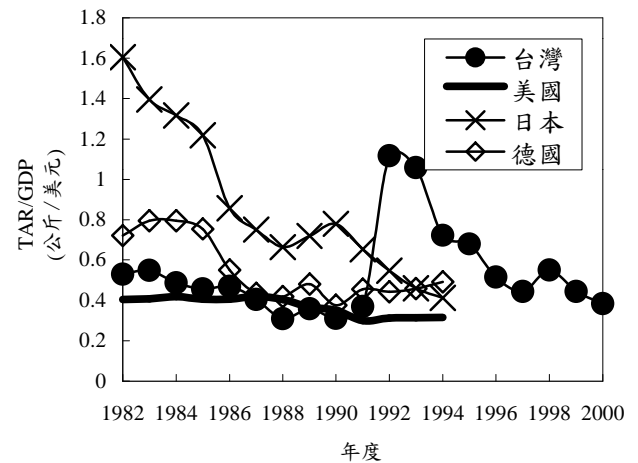


圖 3 台灣、美國、日本與德國砂石使用密集度(IU)比較圖

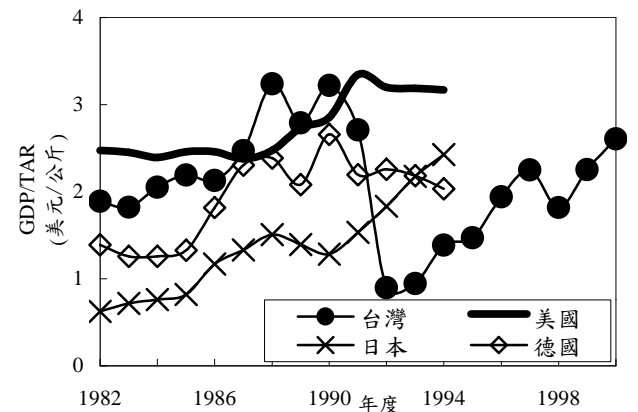


圖 4 台灣、美國、日本與德國砂石使用效率(EU)比較圖

西元1982-1991年間，台灣地區建築砂石使用密集度(IU)與美國、德國相當，約維持在平均0.5 (公斤/美元) 的水準，但在西元1992年後，台灣地區建築砂石使用密集度(IU)逐漸超越美國、日本與德國，如圖3所示；且在美國地區建築砂石使用密集度(IU)平均維持在0.4 (公斤/美元)，並在逐年下降中；德國地區建築砂石使用密集度(IU)也維持在0.5~0.8 (公斤/美元)的範圍內；日本地區建築砂石使用密集度(IU)逐年下降的趨勢最為明顯。圖4為各國建築砂石使用效率(EU)的比較圖，日本地區建築砂石使用效率(EU)歷年來維持在0.5~2.5 (美元/公斤)的範圍內且有逐年增加的趨勢；美國地區建築砂石使用效率(EU)則維持在2.5~3.5 (美元/公斤)的範圍內；德國地區建築砂石使用效率(EU)則維持在1.5~2.5 (美元/公斤)的範圍內；台灣地區建築砂石使用效率(EU)在西元1982-1991年間維持在2~3 (美元/公斤) 的範圍，但在西元1992年突然下降，然

後才逐漸好轉。因此，西元1992年後台灣地區建築砂石的善用與使用效率皆未達其他三個先進國家的水準。

四..結論與建議

- 1.. 工業生態學(IE)中之物質流分析(MFA)是提供產品和物質從人類經濟活動到環境中流動過程資訊的分析工具，這些資訊可被用來開發更全面的物質管理策略，以有效達到減量化與去物質化。物質流分析之控制管理可應用於各工業類別所使用之材料、耗用之資源或能源、毒性重金屬物質與非金屬類物質等，藉由供給、需求、使用、廢棄與回收之各階段物質流向與流量分析，以求在一定時間歷程上有效控制各產量、廢棄回收量與再利用量等變數，以達永續物質利用之最大效益，並進而減低與預防其對整體環境所帶來的污染與衝擊。
- 2.. 台灣地區近 50 年來，在經濟與工業突飛猛進的衝擊下，導致國內建築砂石的供給出現短缺的窘境；然而，台灣地區未來建築砂石供應來源勢必多元化，由目前的河川砂石，轉為以陸上砂石為主要開採對象，並輔以海域砂石、進口砂石、替代性砂石與少數河川砂石，但為求長遠的永續物質利用，回收目前累積性的廢棄混凝土(含砂石)，並將其視為替代性砂石的來源應被重視與推廣。
3. 總建築砂石需求量(TAR)意即總建築砂石自產、進口輸入與相對隱藏流之總和。它最能代表一個國家經濟活動中建築砂石消耗的總量，亦能量化建築砂石挖掘與使用對環境所帶來之潛在衝擊。雖然在台灣地區 TAR 目前仍處於部份資料欠缺的情況（包括國內自產隱藏流與來自進口的隱藏流，部份資料僅能以美國、日本、德國、荷蘭所得之平均值估計之），無法精確計算出台灣地區歷年 TAR 之數值；而且，將其與國內生產毛額(GDP)相對應後與其他國家做比較所呈現的結果，可能會因國家整體資源稟賦、產業結構不同，而無法完整描繪出建築砂石使用對產出的貢獻，但仍具有建築砂石使用密集度與使用效率變化的

參考價值。

- 4.. 在建築砂石使用密集度上，西元 1982 年至 1991 年間，台灣地區建築砂石使用密集度與美國、德國幾乎相當，約維持在平均 0.5 (公斤/美元) 的水準，但在 1992 年後，台灣地區建築砂石使用密集度逐漸不及美國、日本與德國；在美國地區建築砂石使用密集度平均維持在 0.4 (公斤/美元)，並在逐年好轉中；德國地區建築砂石使用密集度也維持在 0.5~0.8 (公斤/美元)的範圍內；日本地區建築砂石使用密集度逐年好轉的趨勢最為明顯。在建築砂石使用效率上，日本地區建築砂石使用效率歷年來維持在 0.5~2.5 (美元/公斤)的範圍內，且有逐年提升的趨勢；美國地區建築砂石使用效率則維持在 2.5~3.5 (美元/公斤)的範圍內；德國地區建築砂石使用效率則維持在 1.5~2.5 (美元/公斤)的範圍內；台灣地區建築砂石使用效率在西元 1982 年至 1991 年間維持在 2~3 (美元/公斤) 的範圍，但在西元 1992 年突然轉劣，然後才逐漸好轉。因此，西元 1992 年後台灣地區建築砂石的善用與使用效率皆未達其他三個先進國家的水準。