



災區廢土廢棄物問題

◎ 顏聰

學歷：德國柏林工業大學工程博士

現任：國立中興大學土木系教授

勞委會勞工安全衛生諮詢委員會委員

公共工程委員會公共工程諮詢委員會委員

專長：混凝土技術與工程

著作：《 Optimizing mix – proportions for
flowable high performance concrete via
mortar rheology 》

《 Flow behavior of high strength high
performance concrete 》

經歷：國立中興大學工學院院長

中興大學土木系主任

台中市都市計畫委員會委員



集集大地震，以及其後一個月內發生的 4 次規模超過 6.5 的餘震，造成上萬棟房屋損毀，鄰近斷層附近的橋樑也幾乎無一倖免。從調查報告中也發現，震害的建築設施以鋼筋混凝土建物居多。這些受震害而毀損的建築物，都將陸續拆除以進行重建工作。根據環保署的粗略推估，建築廢棄物的總量將達到近 2000 萬公噸，數量相當龐大，而組成的成分也頗為複雜；其中以混凝土、磚塊、土石為大宗，另參雜有木料、玻璃、塑膠、紙類、布類、有機物質等一般廢棄物。

對於廢棄物的處置，傳統的方法不外衛生掩埋或焚化處理。由於本次震害拆除廢棄物，以無機固體廢料佔絕大部分，焚化處理所能扮演的角色有限，衛生掩埋處置法較有可能在短時間內迅速消化該等廢棄物，但因產生的震害廢棄物數量確實過於龐大，恐難以全數作成有效的處置，而可以預見的是，這些廢棄建物終將未規畫或違規的拋棄於野外空地、山間或河川地，引發以下所列諸多問題：

- (1) 任意棄置，破壞景觀，衍生環境衛生問題。
- (2) 就地掩埋，汙染地下水源，甚而產生氣爆。
- (3) 棄置山間谷地，阻斷河道，多雨季節引發河流改道，造成坍塌或土石流，危害下游居民及生態環境。
- (4) 堆置於河川地上，阻斷水流，豪雨之際將引起水位高漲，可能造成堆積物塌陷而形成二次汙染。

事實上，若從另一角度考量，在拆除下來的建築廢棄物

中，仍以混凝土及磚塊所佔比例最大，可能有 70%（重量比）以上。這些廢棄料業經前人研究確定，只要加以適當的處理即可應用為填方用粒料或營建用混凝土。在建築廢棄物的回收處理與再生利用方面，國外的既有技術固然值得參考，要全盤引進應用恐怕仍有本質上的盲點在，例如廢棄料的組成內容、可供吸收或容納的去處或場所、與處理相關的法令規章等，各國間必然各有其特殊的屬性。

這種現象在台灣地區同樣存在，尤其因台灣地狹人稠，驟然間產生如此大量的廢棄物，可以預測的是，有限的垃圾堆置場地絕不足以有效容納，若未能作成通盤的妥善處理，非法的廢棄物將向島上的山谷、河川地、乏人管理空地等四處流竄，可能造成的環境衝擊與安全衛生影響，將是既深且廣。有鑑於此，如何將這些拆除下來的建築廢棄物再生利用，實為最具效益的處理策略，因為如此一來，既可大幅減少廢棄物量，又可轉化成砂石資源材料，應用於營建工程上。

基於上述考量，本文將先探討震災建築物的震害狀況，分析建築拆除物的特性，據以研析廢棄物再生利用的處理法以及技術策略，最後提出應用廢棄物於營建工程上的通路。

二、建築物之震害狀況

九二一地震災區的建築物類型甚多，依種類分有房屋建築、橋樑、道路、維生系統、水利設施、港灣設施等；若按結構物屬性區分，則可分成鋼筋混凝土、圬工（磚造與土塊



厝)、鋼結構、木造、鐵皮屋等。參考內政部建築研究所與國家地震工程研究中心所作成的建築物震害調查報告可發現，在完成統計的 8000 棟房屋建築中，鋼筋混凝土造所佔比例最大達約 52%，其次為磚造約 24%，再次為土塊厝約 13%，其餘之木造、鐵皮屋等約佔 10%。顯然，鋼筋混凝土與磚造兩種構造所佔的比例已超過 75%。以下只針對這兩類建築作損害分析：

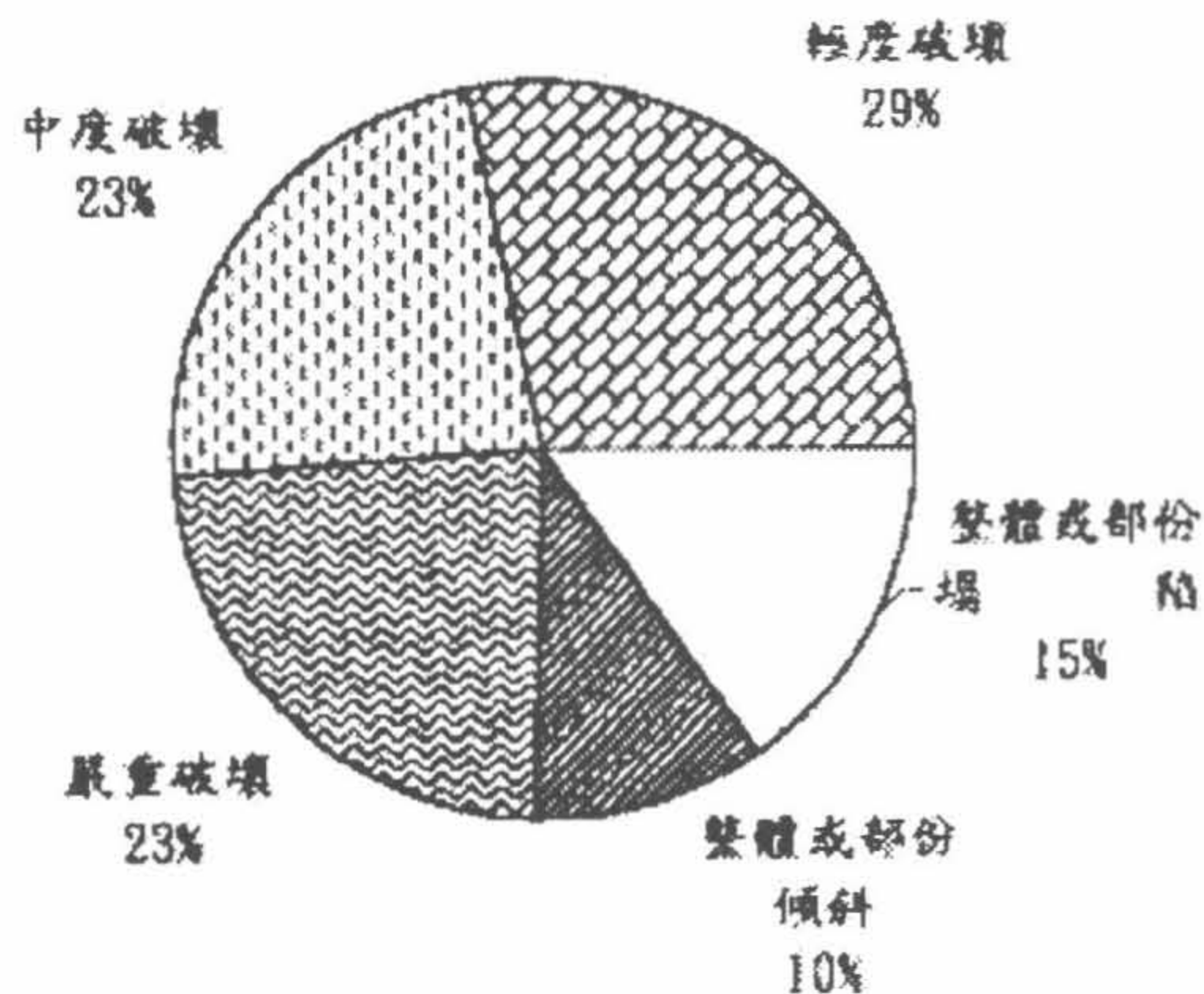


圖 1 鋼筋混凝土構造之損壞百分比

(資料共 4325 筆)

(一)鋼筋混凝土建築之震害

從約 4300 棟建築中統計所得損害度情形，如圖 1 所示，達嚴重破壞以上者佔有約 48%，這些建物都須拆除，23% 的中度破壞建築也有部分會被拆除，使其總體拆除率達 80% 以

上。另依房屋樓層分析時，則可由圖 2 看出，1 至 3 樓者佔大多數，其受損最為嚴重，4 至 6 樓者其次，7 樓以上者所佔比例不大，損壞情形也較不嚴重。

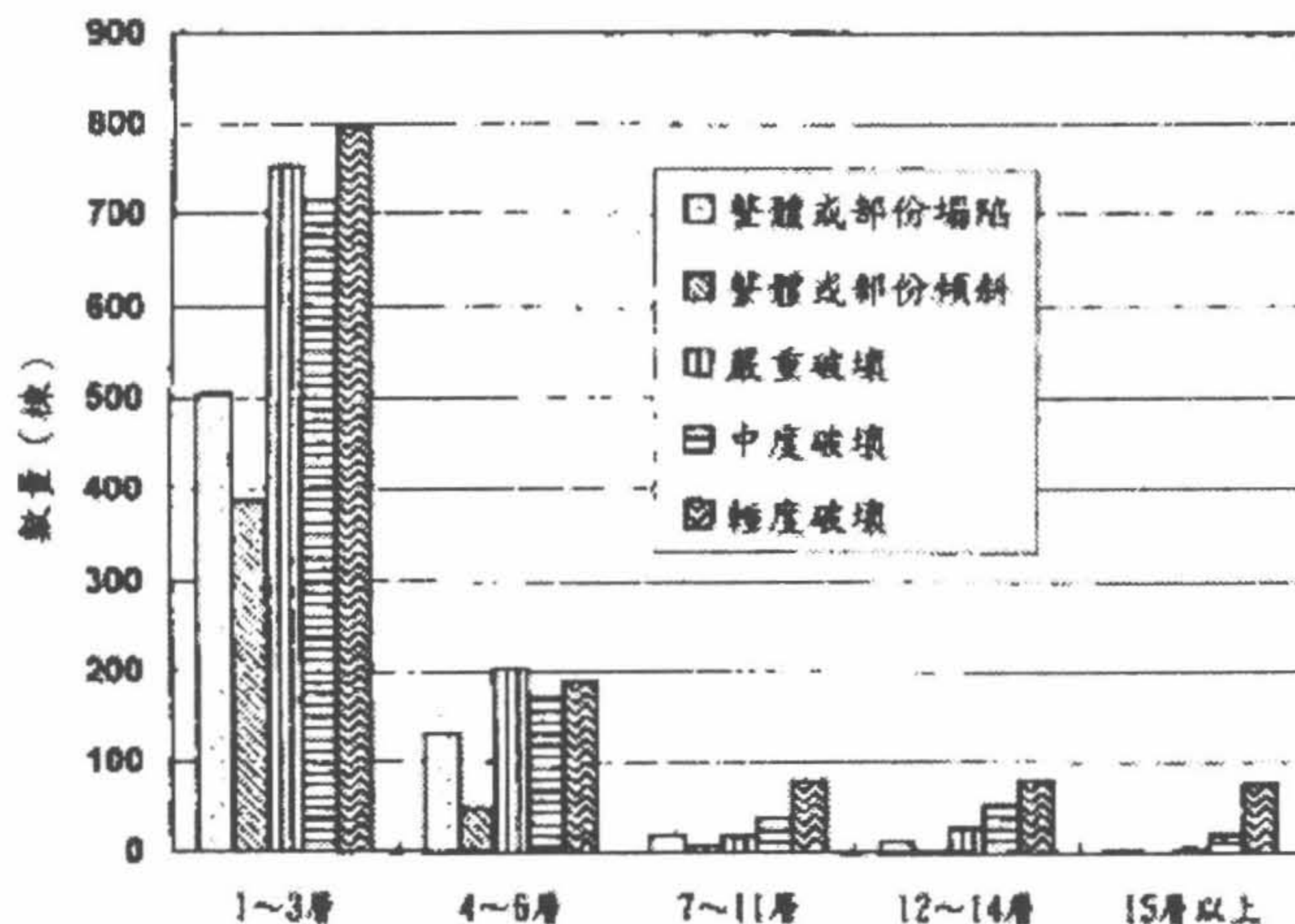


圖 2 鋼筋混凝土構造依樓層之損害分析

(二)磚造建築物之震害

這類房屋建築有約 2000 棟，其損害度分析結果如圖 3，達嚴重破壞以上者佔有約 70%，中度破壞的也有約 18%，表示須予以拆除的比例高達近 90%。若從立面造型來分析其損害狀況，則可由圖 4 上看出，設有騎樓的房屋佔絕大多數，而其損壞度也極為嚴重，這種騎樓式建築在鋼筋混凝土房屋也有類似的損壞較為嚴重情形，同樣都面臨拆除的命運。

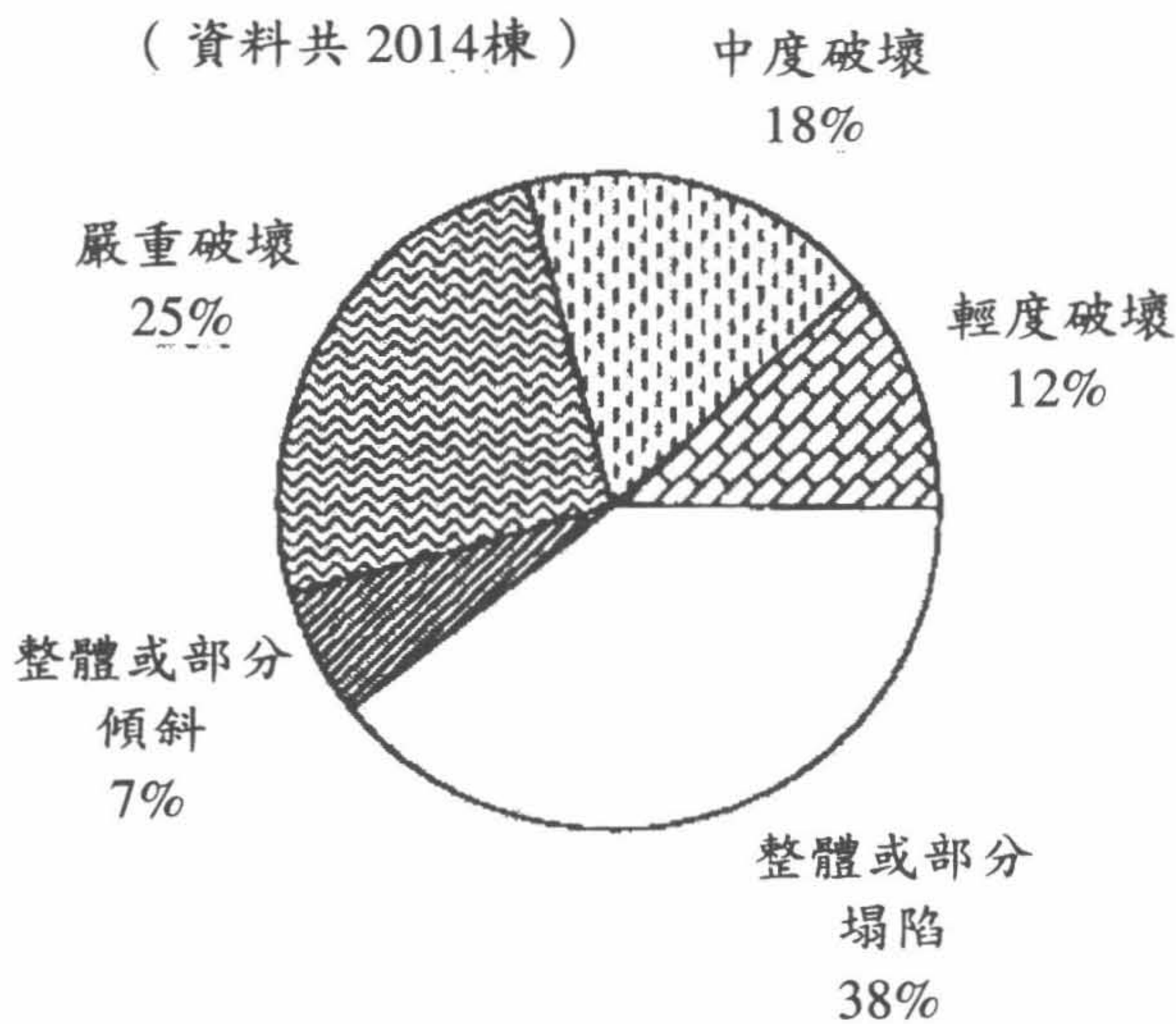
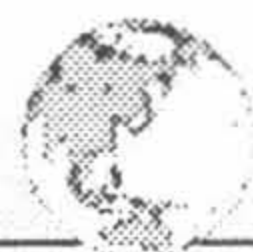


圖 3 磚構造之損壞百分比

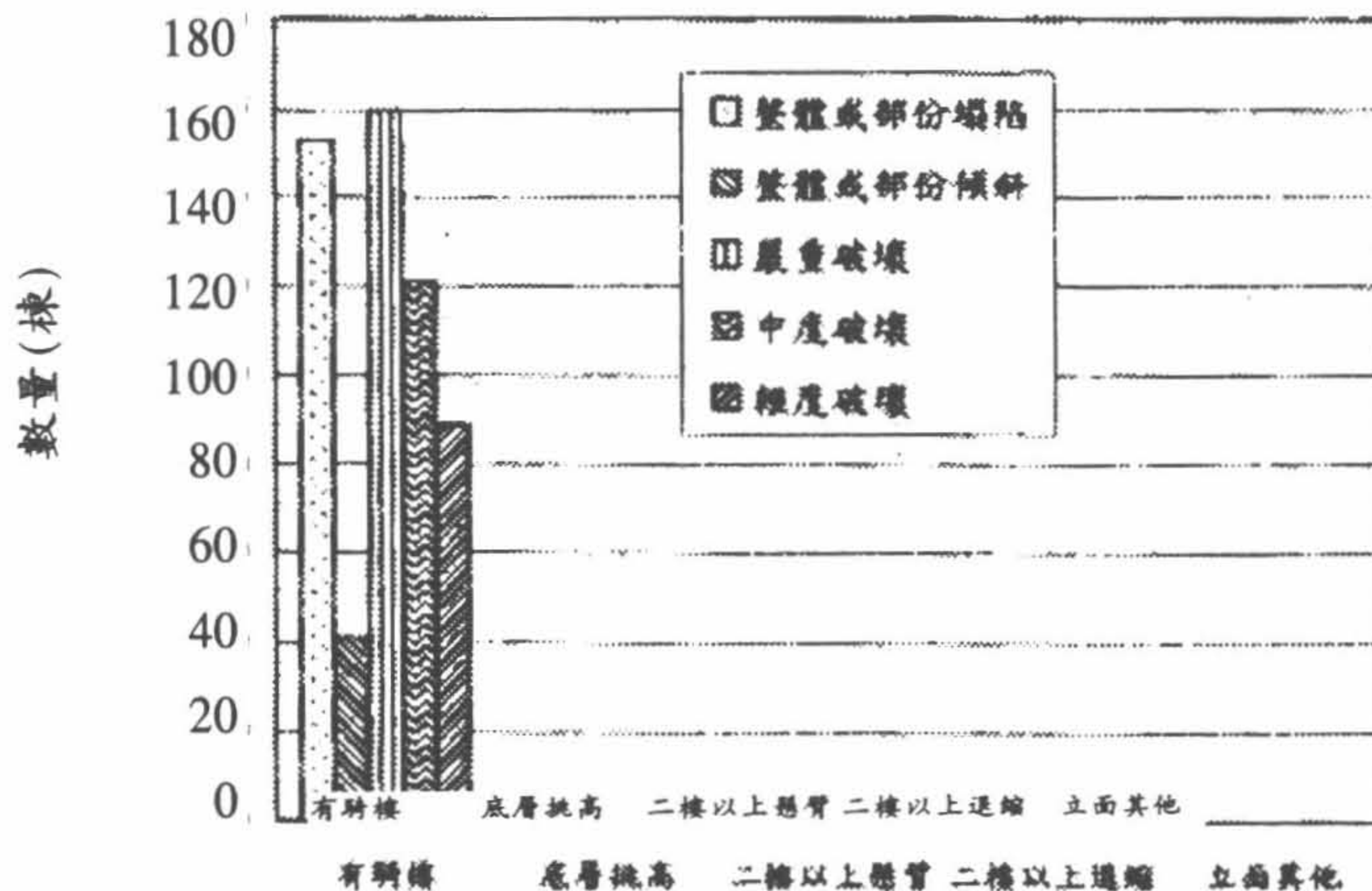


圖 4 磚構造依立面造形之損害分析

(三)其他建築之震害

除上述鋼筋混凝土及磚造建築物以外，土塊厝是佔較大比例的建築，其損害分析如圖 5 所示，達嚴重破壞以上者有 92% 以上，顯然因未作耐震設計所致，這類建物幾乎須全數拆除。

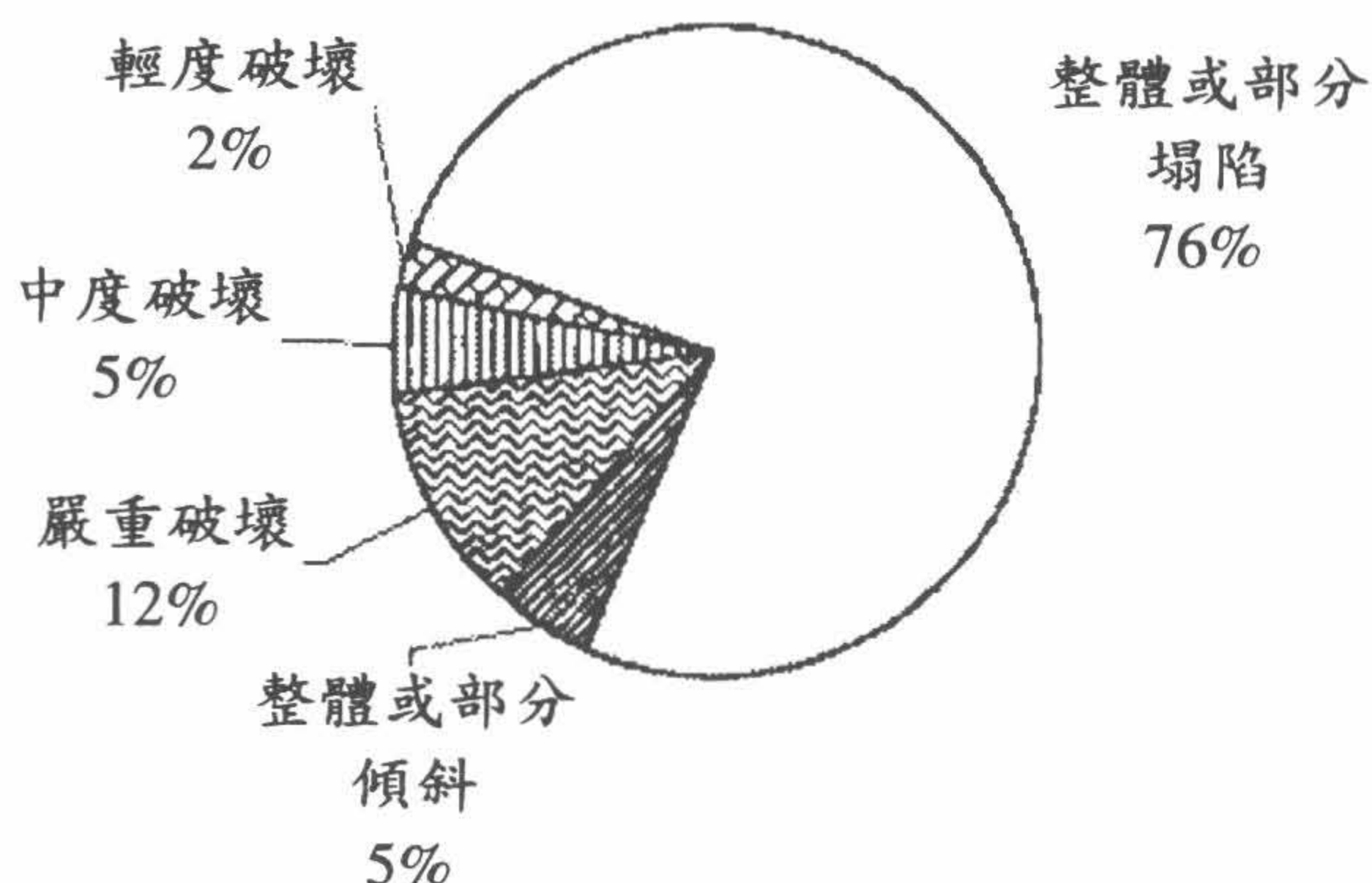


圖 5 土塊厝構造之損壞百分比

三、建築拆除物之特性

台灣地區的方屋建築形態在經濟發展、人口增加、居住空間需求量日增的情況下，隨著建地上建築樓版面面積准許增加的法規配合，早期建造之低層式木樑磚造或加強磚造房屋，漸被高層鋼筋混凝土或鋼骨結構樓房所取代。考量本次九二一大地震侵襲最嚴重的南投縣及台中縣，其房屋建築涵蓋有最簡陋的土塊厝到現代化的高樓大廈，樣式可謂多而複雜，相對的，



其建築拆除物也因而相當龐雜。

建築拆除廢棄物可大分成廢棄物及廢棄土兩大類，前者如金屬、木料、布料、紙類、塑膠、玻璃等；後者如混凝土、磚塊、土石等。這些廢棄物與由一般工業產生者有相當大的差異，因為它們具有下列特性：

- (1) 數量大但都不具危害性
- (2) 大多為一種混合物
- (3) 具有回收再生利用的潛能。

由此可知，建築拆除廢棄物含大比例固體物料又無危害性，極適合於回收再利用。不過如前所述，國內建築形態有別於先進國家者，其拆除廢棄物也各具特色，各項廢棄料所含比例如表一所示，顯然國內台北都會區以混凝土、磚瓦及木料為主，而美國舊金山地區則以木料、金屬為主，混凝土與磚瓦所佔比例不高，至於九二一震災區埔里的廢棄物更具特色，其混凝土、磚瓦與廢土所佔比例超過 90%，大異於一般建築拆除廢棄物的組成。

表一：建築拆除廢棄物之成分比例

項目 地區	廢棄物比率(重量比 %)					
	混凝土	磚瓦	廢土	木料	金屬	其他
台灣(埔里)	42	31	23	1	0.3	2.7
台灣(台北)	28	25	-	22	13	12
美國(舊金山)	15	10 - 15	-	45 - 50	20	5

基本上，從建築物上拆除下來的廢棄物類項繁多，大體上依其來源可綜合如下：

混凝土：混凝土或鋼筋混凝土結構體。

磚瓦：磚牆、屋瓦。

廢土：土塊厝、植栽用土。

陶磁：磁磚、食器、飾品。

木料：木構材、隔間、門窗、天花板。

金屬：鋼骨、鋼筋、鋁門窗、鐵皮、鐵卷門、家電。

玻璃：玻璃窗、飾品、用具。

紙：紙箱、壁紙、書報。

塑膠：管線、水桶、保特瓶、飾物。

布料：衣物、絨毯、窗簾、線索。

有害物：石棉瓦、燈管。

上列諸項拆除廢棄物中，廢混凝土、磚塊、廢土等佔甚大比例，這些材料經過破碎處理後將成爲可再利用之混凝土（Reclaimed Concrete Material, RCM），此 RCM 將適合應用作爲混凝土骨材、瀝青混凝土骨材、填方、路基級配料等，用途甚廣。

事實上，上述經回收處理而成的 RCM，已被肯定適合以作爲拌製混凝土用的骨材，即能製造成結構用的再生混凝土，只是其材料性質與一般砂石骨材有下列差異性存在：

- （1）由 RCM 所得粗骨材的表面孔隙較多且粗糙，細長率與方形率介於天然卵石與碎石之間。



- (2) RCM 之骨材比重較低，粗骨材約 2.2 ~ 2.5，細骨材約 2.0 ~ 2.3。
- (3) RCM 之骨材具有較高之吸水率，粗骨材約 2 ~ 6%，細骨材約 4 ~ 8%，粒徑愈小者吸水率愈大。
- (4) 由洛杉機磨損試驗可得 RCM 骨材的磨損率在 25 ~ 35% 之間，比天然骨材者大，但還低於 ASTM 規範值之 50%。
- (5) RCM 之骨材因粘附水泥漿而具有較高之鹼性，PH 值大於 11。
- (6) 取自地下結構體的 RCM，其含有之有毒雜質可能大於曝露在外者。

四、建築拆除廢棄物之回收再生處理

國外歐、美、日等先進國家，早因認知到對民生廢棄物作處理與再利用的重要性，而已紛紛建立完善的廢棄物處理技術與規範。對於建築拆除廢棄物的處理，也有適當的成規可循，例如美國在 1989 年 10 月發生於舊金山的地震與 1994 年 1 月發生於洛杉機北嶺的地震，各產生了上百萬噸的建築拆除物，但是都能在有效的廢棄物處理計畫下，將該等龐大的廢棄物回收率達到 60% 以上。

鄰近的日本阪神在 1995 年 1 月發生大地震後，產生了約

1300 萬公噸的建築廢棄物，也都能作成有效的回收，而其中約 30 萬公噸的混凝土塊即用於填海造陸。所有先進國的處理技術和經驗，應可做為本次震災廢棄物處理的參考，但須考量本土環境作適當的調整。

對於建築拆除廢棄物的處理，通常需於事前擬定回收及再利用策略，依策略訂定處理流程。該處理流程包含事前作業、處理方針、分類收集及處理方式等 4 項，參閱圖 6 再分述如后：

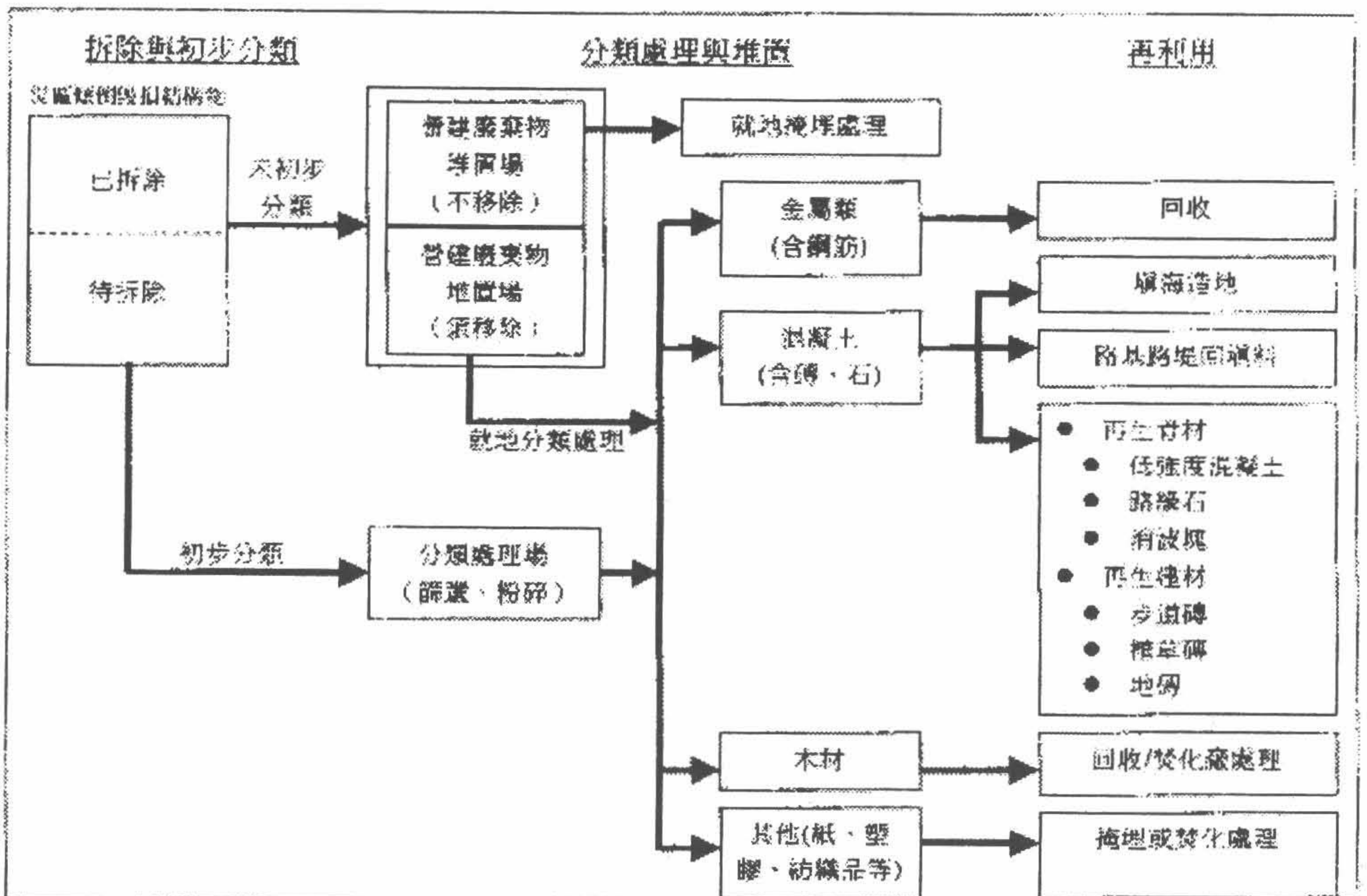


圖 6 震災建築拆除廢棄物之處理再利用流程



（一）事前作業

進行廢棄物處理之前應先對擬拆除的建築廢棄物作評量，瞭解廢棄處理之實況，檢討再利用設施，從而擬定處理計畫。

（二）處理作業方針

依先進國家的經驗，要有效利用震災建築廢棄物，最具關鍵性的是對拆除物的初級分類。良善的分類可使處理工作事半功倍，且能大幅提升廢棄物的回收率。如圖 6 所示，對拆除的廢棄物立即作初級分類並明定其處理方針，例如：

- （1）可再生利用物料：混凝土、磚瓦、金屬類。
- （2）不易再生利用物料：木料、玻璃、土石。
- （3）無法再生利用物料：紙類、塑膠、紡織品。

本次九二一災後，軍方奉命限期拆除 4 樓以下建築，由於命令緊急須即時完成，以致於上述之初級分類實際上無法進行。之後公共工程委員會委託外包處理的 12 層以上大樓，則因其建物的回收比例較高，應考慮作初級分類。

（三）分類收集與儲存

分類收集對廢棄物處理極為重要，執行上須仰賴拆除業者與清除業者的密切配合，可將本項工作納入合約範圍內，要求雙方分工分類。例如，拆除業者須先進入屋內收集可用設備物品後才進行拆除，並將混凝土、鋼筋等從拆除物中分離出來。清除業者須依分類載運混凝土、鋼筋及其他廢棄物至處理場，

分開堆置。

九二一震災後，拆除工作即開始進行，當時環保署中部辦公室受命在災區陸續設置了 93 處面積不等的臨時堆置場，只供拆除物堆積之用，並未做分類處理。

(四) 處理方式

從建築上拆除下來的廢棄物，將由清除業者運往廢棄物處理廠、垃圾場、安定掩埋場或臨時堆置場。在廢棄物處理場的廢棄物將進行回收工作，廢棄物中絕大部分的混凝土與磚瓦可直接再利用為路基填料，也可經碎化處理成粒料以製造再生混凝土，應用於結構物或消波塊、路面、緣石等非結構物。其他廢棄物，如木料、金屬、玻璃等也可回收利用，如表二所示。

表二：建築拆除廢棄物之可能處理方式

廢棄物種類	直接再利用	回收再利用
混凝土塊	1. 衛生掩埋場掩埋材料 2. 空地回填(如停車場) 3. 路基填料	再生骨材→路緣石 消波塊 步道磚 下水道溝蓋板
磚瓦	1. 衛生掩埋場掩埋材料 2. 填方 3. 路基填料	再生骨材



玻璃		再生玻璃
廢鋼鐵	廢棄物種類	再生鋼鐵(電弧爐煉鋼)
其他金屬 (如鋁、銅)		再生金屬
木材	1. 燃料(須剔除化學 物質及金屬) 2. 堆肥	再生木材
塑膠		再生塑膠

五、建築廢棄物之再生利用技術

(一) 廢棄物再生處理

從建築物上拆除下來的廢棄物，若能先做初級分類，則可於回收處理時產出品質較佳的再生材料。未做初級分類的廢棄物也可進行處理，只是所得再生材料的雜質含量大。目前先進國家已有可供實地應用的廢棄物處理機，九二一地震後台灣營建研究院為推動廢棄物再生利用計畫，乃協調帝凱、永日建機及怡和重機 3 家公司，進行再生處理實地試驗。各家廠商所用處理機械雖互不相同，但處理過程大致上相近，即為：前處理 R 篩選（或磁選）R 人工檢拾 R 碎石機 R 再生材料。

Powerscreen C & D 分類處理系統流程圖

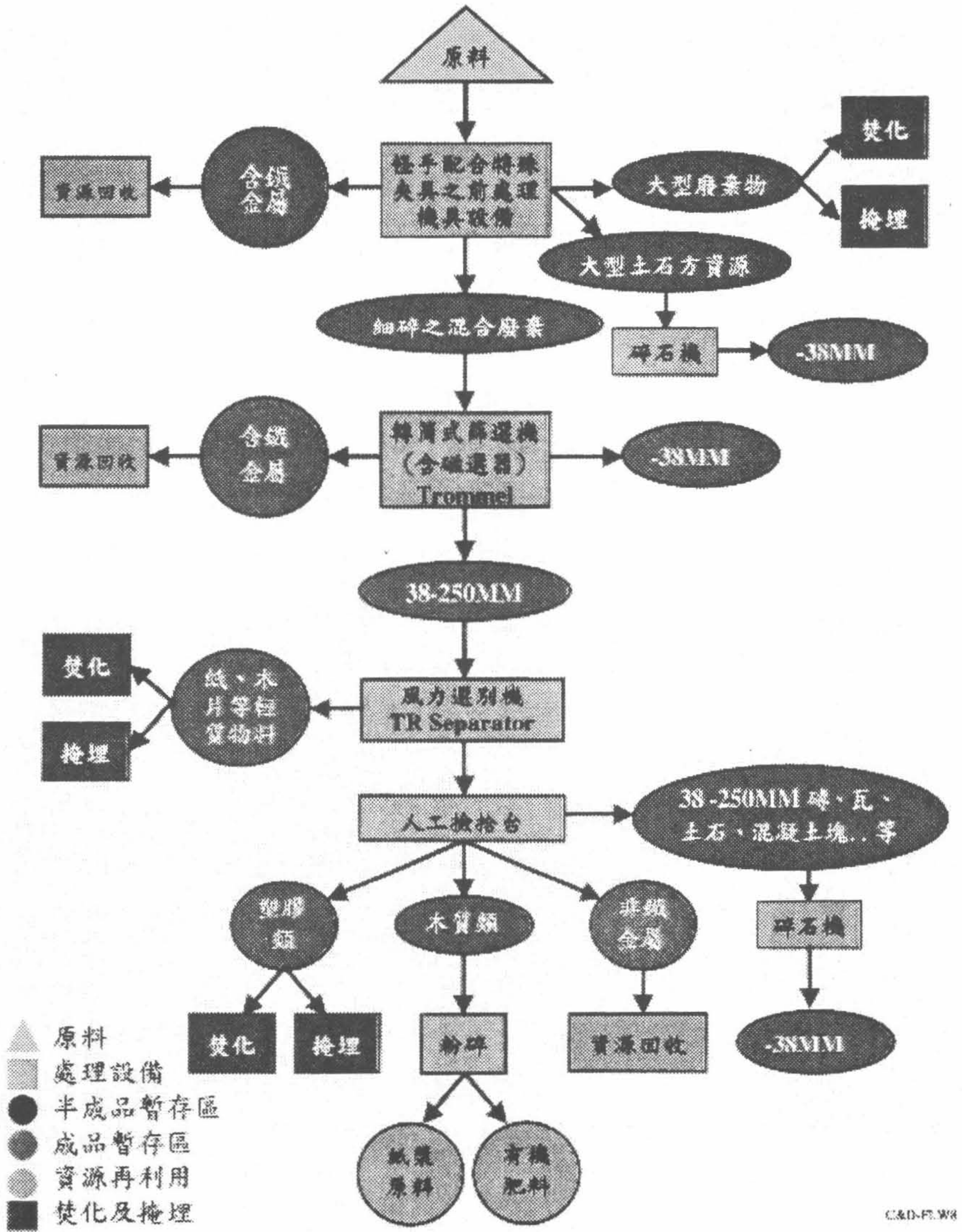


圖 7 Powerscreen 分類系統



(a) 處理前之建築廢棄物



(b) 處理後之再生建材

圖 8 廢棄物之再生處理

以帝凱公司所用的 Power screen 處理機為例，如圖 7 所示，經處理後可將小於 38mm 的細粒料篩分，剩餘的 38 - 250mm 材料再以風力選別機吹離輕物質，另以人工檢拾塑膠、木片、非鐵金屬後，所剩混凝土、磚瓦料即可碎化成再生骨材，其處理成果如圖 8 所示，處理效果相當理想。

（二）廢棄物之再生利用技術

經過處理後的建築拆除廢棄物，除去可以直接回收利用的金屬類及加以焚化或掩埋的木料、紙、塑膠、紡織品等以外，佔有大比例的混凝土、磚、瓦等即可應用於再生混凝土、再生建材（如步道磚、地磚等）及填方上。對於各項應用所需技術再擇要分述如后：

1. 再生混凝土—應用於人工漁礁

(1) 背景與目的

農委會漁業署為長期合理利用漁業資源，自民國 63 年起，即開始有計畫地推展設置人工漁礁及養育資源工作，積極推動臺灣沿近海域漁業資源之保育計畫。到 81 年 6 月止，政府投入於「設置人工漁礁，培育沿近海漁業資源計畫」經費約為新台幣 3 億 5 仟萬元，製造使用的漁礁每年約 10,000 座，拋置於台灣西部與東部以及澎湖地區的 17 個沿海縣市。

大型人工漁礁，目前由農委會漁業署指定專門工程技術單位設計製作。設計標準為混凝土抗壓強度需達 280kgf/cm² 以上，採用 II 型水泥，氯離子含量在規範值以下。礁體設計的



考量因素，主要為結構體在海域中的安全性，有足夠的結構強度與耐久性，符合魚貝類的生態習性需要，不致於造成海域的汙染或影響礁區漁撈作業。綜合可知，以再生混凝土製作人工漁礁與採用普通混凝土者並無太大差異，故可滿足所訂要求條件。

(2) 使用材料與再生混凝土配比

製造人工漁礁使用的材料包括水、水泥、爐石、再生粗骨材、天然砂等，其中水泥採用台灣水泥公司所生產的波特蘭 Type I 水泥，物性與化性如表三；水為自來水；爐石粉由中聯爐石處理資源化公司提供，其性質也列於表三。至於再生粗骨材的原料取自斗六市漢記建設拆除下來之建築廢棄物，碎化後取 3 組做完整之篩分析曲線得如圖 9，圖中顯示，粗粒料（#4 篩以上）部分約佔全部之 70%。文獻建議細骨材部分使用天然砂將可獲得較好之混凝土品質，因此僅取粗粒料部分，其基本性質列於表四，顯然其比重偏低，吸水率偏高。另外，細骨材採用天然砂，取自大甲溪，F.M. 值為 3.03，吸水率 1.87%。

表三：水泥與爐石性

A. 化學性質			
項目		水泥	爐石
1. SiO ₂	(%)	20.90	33.87

2.	Al ₂ O ₃	(%)	5.65	14.65
3.	Fe ₂ O ₃	(%)	3.21	0.50
4.	CaO	(%)	63.63	40.42
5.	MgO	(%)	2.52	7.81
6.	SO ₃	(%)	2.16	0.28
7.	S	(%)	— — —	0.65
8.	Na ₂ O	(%)	0.10	0.16
9.	K ₂ O	(%)	0.52	0.33
10.	C ₃ S	(%)	48.76	— — —
11.	C ₂ S	(%)	23.14	— — —
12.	C ₃ A	(%)	9.54	— — —
13.	C ₄ AF	(%)	9.77	— — —
B. 物理性質				
1.	比重		3.15	2.89
2.	細度		344	427
3.	#325 濕篩停留 (%)		— — —	8.02
4.	燒失量 (%)		0.92	0.35
5.	不溶殘渣		0.11	0.15
6.	健度		0.055	— — —
抗壓 強度	7天(kg/cm ²)		362	— — —
	28天(kg/cm ²)		472	— — —



表四：再生粗骨材之性質

篩號	過篩百分比 % (A)	過篩百分比 % (B)	過篩百分比 %	混凝土骨材 之級配要求
3/4"	97.42	95.74	96.91	90 - 100
1/2"	63.53	53.76	57.37	-
3/8"	38.47	34.06	33.24	20 - 55
#4	0	0	0	0 - 10
S. S. D 吸水率 = 7.70%				
S. S. D 比重 = 2.38				
乾搗單位重 = 1275 kg/m ³				

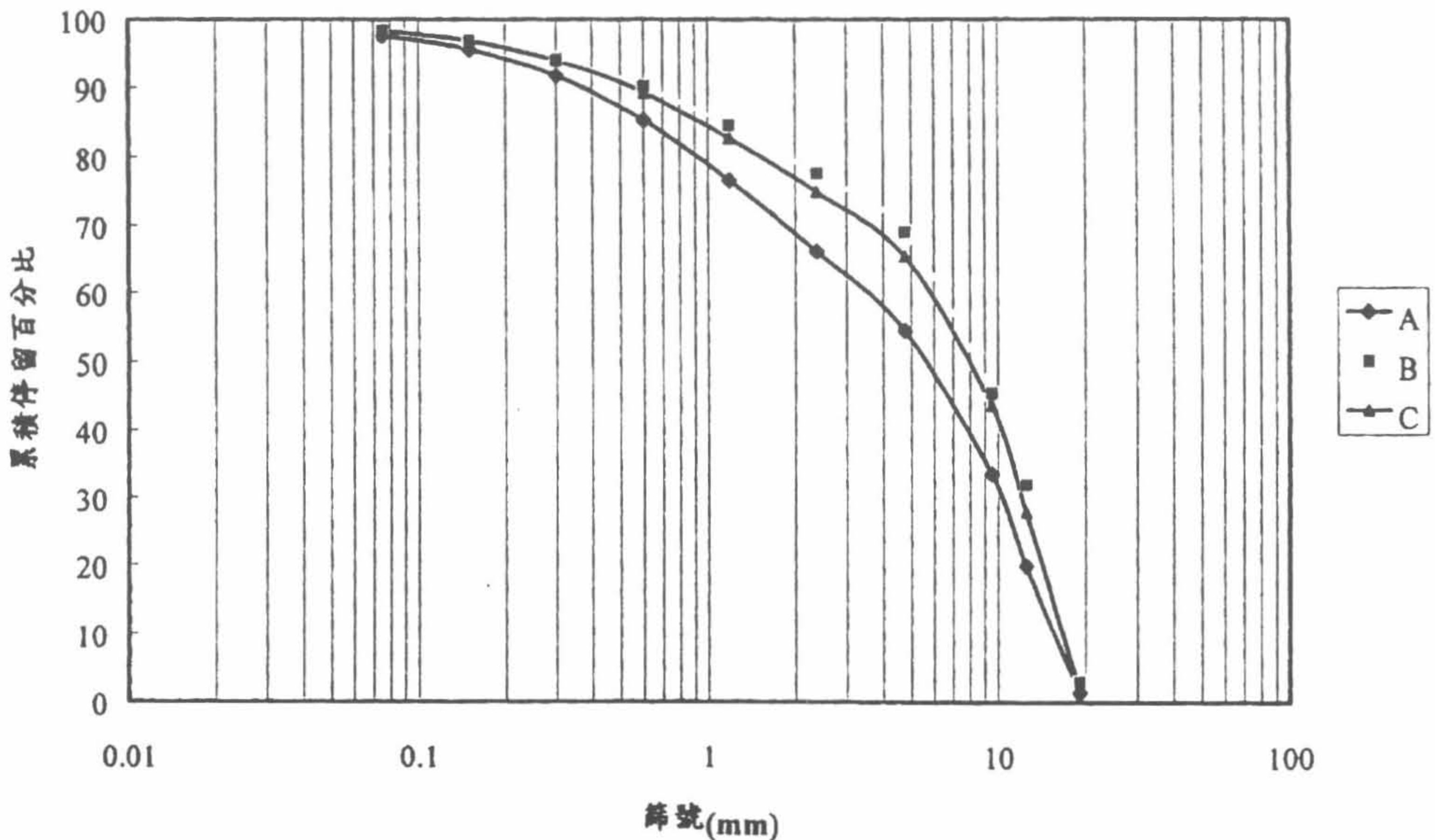


圖 9 再生骨材之篩分析曲線

本試驗目標為製作人工漁礁，依規範要求，水中結構物之水灰比 w/c 須 <0.49 ，且使用 II 型水泥。基於爐石可增加水密性及晚期強度，且置於水中不會產生有毒物質，因而改以 I 型水泥 + 水淬爐石粉代替 II 型水泥，而所設計之初步配比如表五所示。由於添加爐石粉，故以水膠比設計，而將 W/B 固定為 0.45 ，變化不同水泥、爐石含量，嘗試尋找符合要求且為最經濟之配比。混凝土之初步試驗結果列於表六。

新拌混凝土之坍度均在 $75 - 100\text{mm}$ 範圍內，其空氣含量約 1.5% ，與普通混凝土相若。28 天試體平均抗壓強度均大於 300kgf/cm^2 ，符合人工漁礁強度之要求。因此，考慮強度及經濟因素，選擇 C300 此組作為實拌人工漁礁之配比。

表五：混凝土單位配比用量 (kg/m^3)

試體編號	W/B	水	水泥	爐石	粗骨材	細骨材
C250	0.45	202.5	250	200	865.1	693.8
C300	0.45	202.5	300	150	865.1	697.6
C350	0.45	202.5	350	100	865.1	701.4

表六：混凝土初步試驗結果

試體編號	坍度 (mm)	空氣含量	抗壓強度 kgf/cm^2			
			1 天	7 天	28 天	56 天
C250	85	1.3%	155.5	229.2	332.1	374.5
C300	90	1.4%	162.8	225.5	302.4	364.3
C350	100	1.5%	167.2	241.1	306.7	342.9



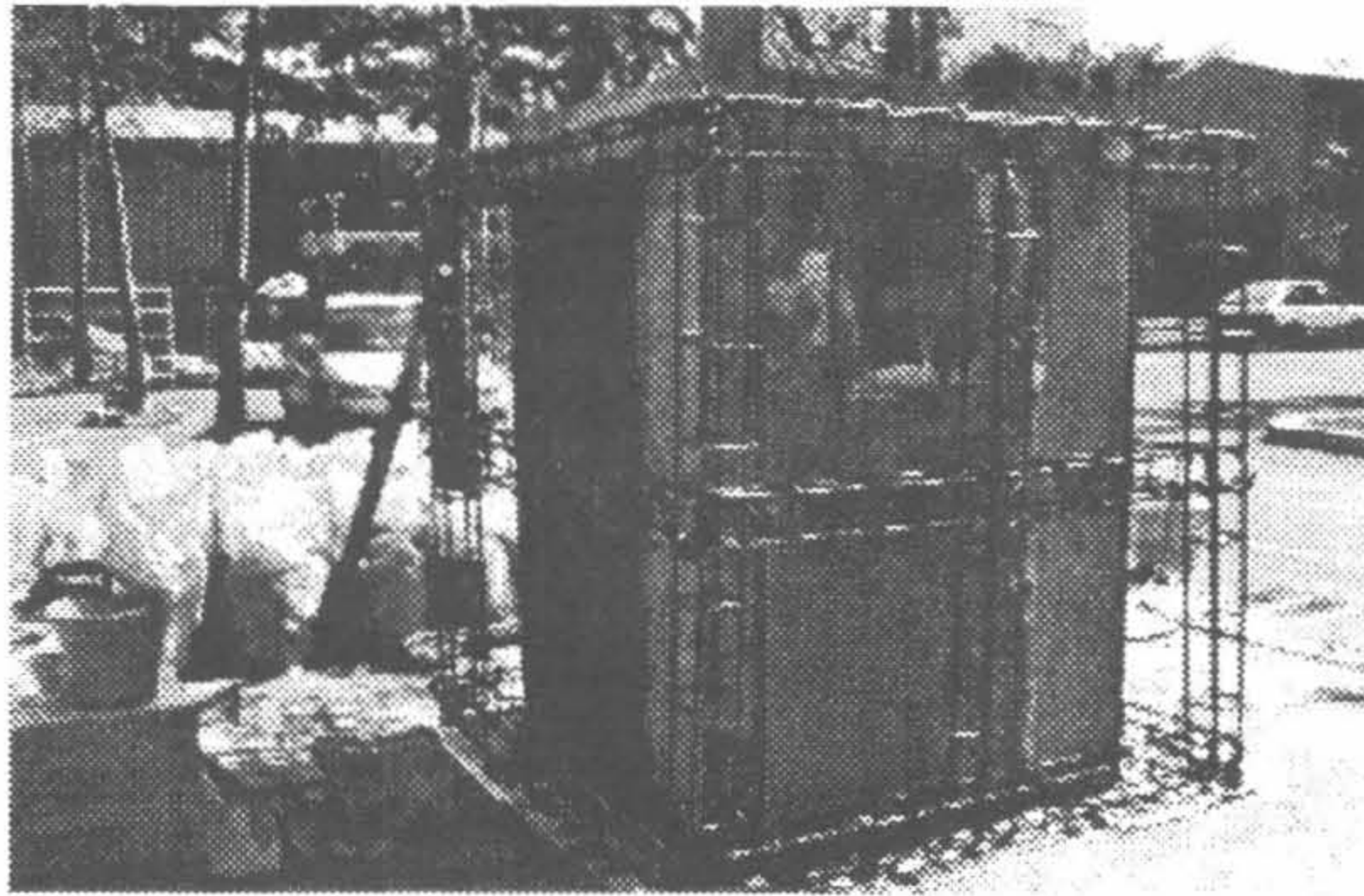
表七：人工漁礁之配比及試驗結果

混合材料 (kg/m ³)							
水	水泥	爐石	粗骨材	細骨材	強塑劑		
202.5	300	150	865.1	697.6	1.65		
試驗結果							
坍度 (mm)	坍流度 (mm)	新拌混凝土 單位重(kg/m ³)	空氣含量 (%)	抗壓強度(kgf/cm ²)			
				1天	7天	28天	56天
200	320	2240	1.20	171	263	289.3	310

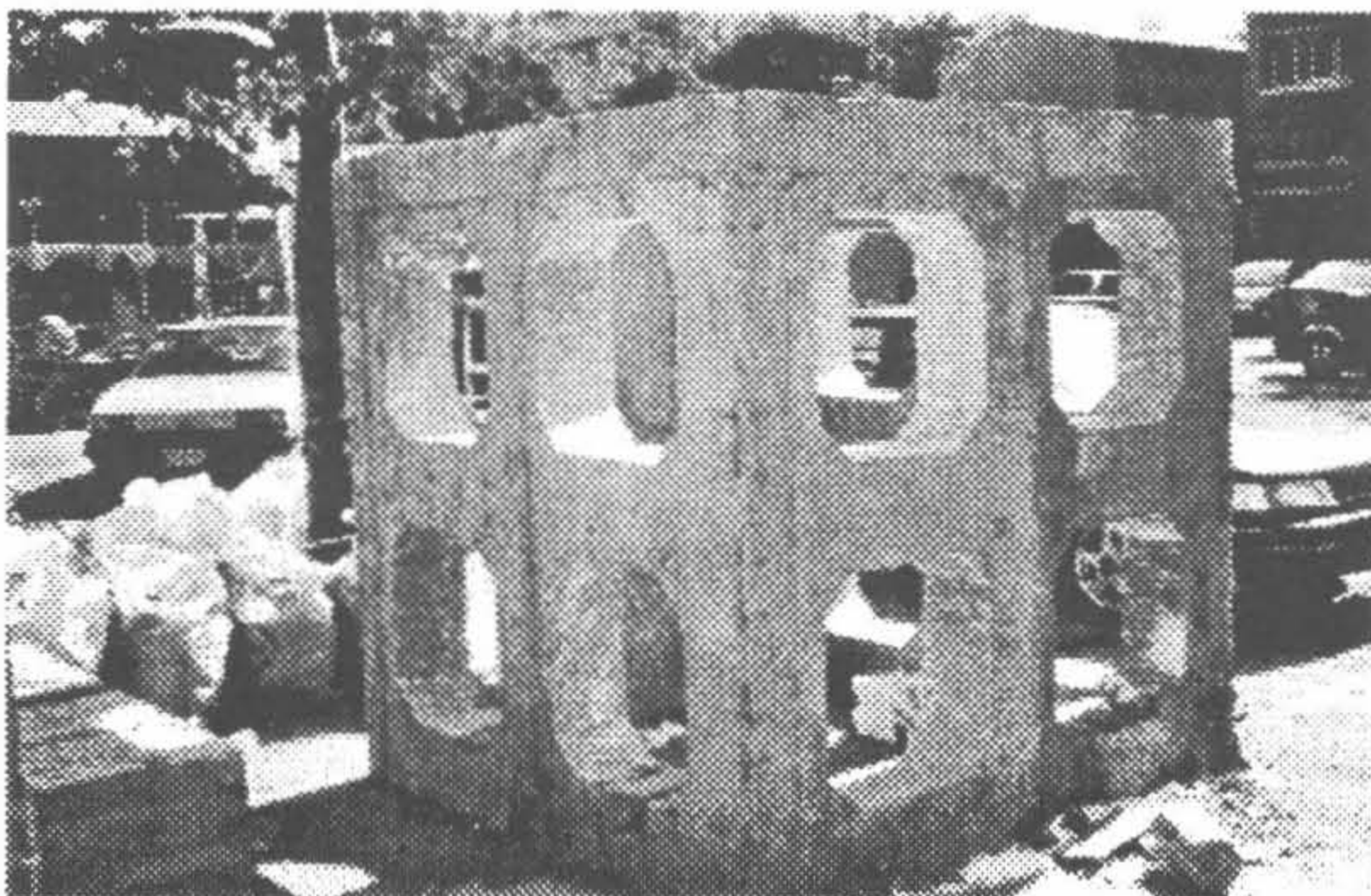
在選定 C300 組作為實拌人工漁礁之配比後，由於考量到實際拌合之工作性需要，乃添加少量強塑劑（HICON 公司提供，型號：HPC 1000）以增加工作性，其配比及試驗結果列於表七。

(3) 人工漁礁之製造

人工漁礁從鋼筋組搭，混凝土之拌合、澆注過程及成品如圖 10 所示。新拌混凝土坍度達 200mm，單位重 2240kg/m³ 及空氣含量 1.20% 均與文獻相近。混凝土抗壓強度 7 天已達 263kg/cm²，28 天的強度應可滿足漁礁之需求。由此可知，再生骨材應可實際應用在人工漁礁的製造上。



(a) 鋼筋組搭



(b) 人工漁礁成品

圖 10 人工漁礁之製作

2. 高流動低強度材料 (CLSM)

(1) 背景與目的

未來政府投注於生命線（如道路、橋梁、自來水、瓦斯、電力、電信等管線）工程的金額十分龐大，在國外為提高管線工程品質和降低交通衝擊，一種新型的水泥質材料”高流動低



強度材料” (Controlled Low Strength Materials, CLSM,) 已被廣泛應用於回填和管線與道路基礎上。國內在下水道和生命線工程中，CLSM 的使用前景應十分樂觀。

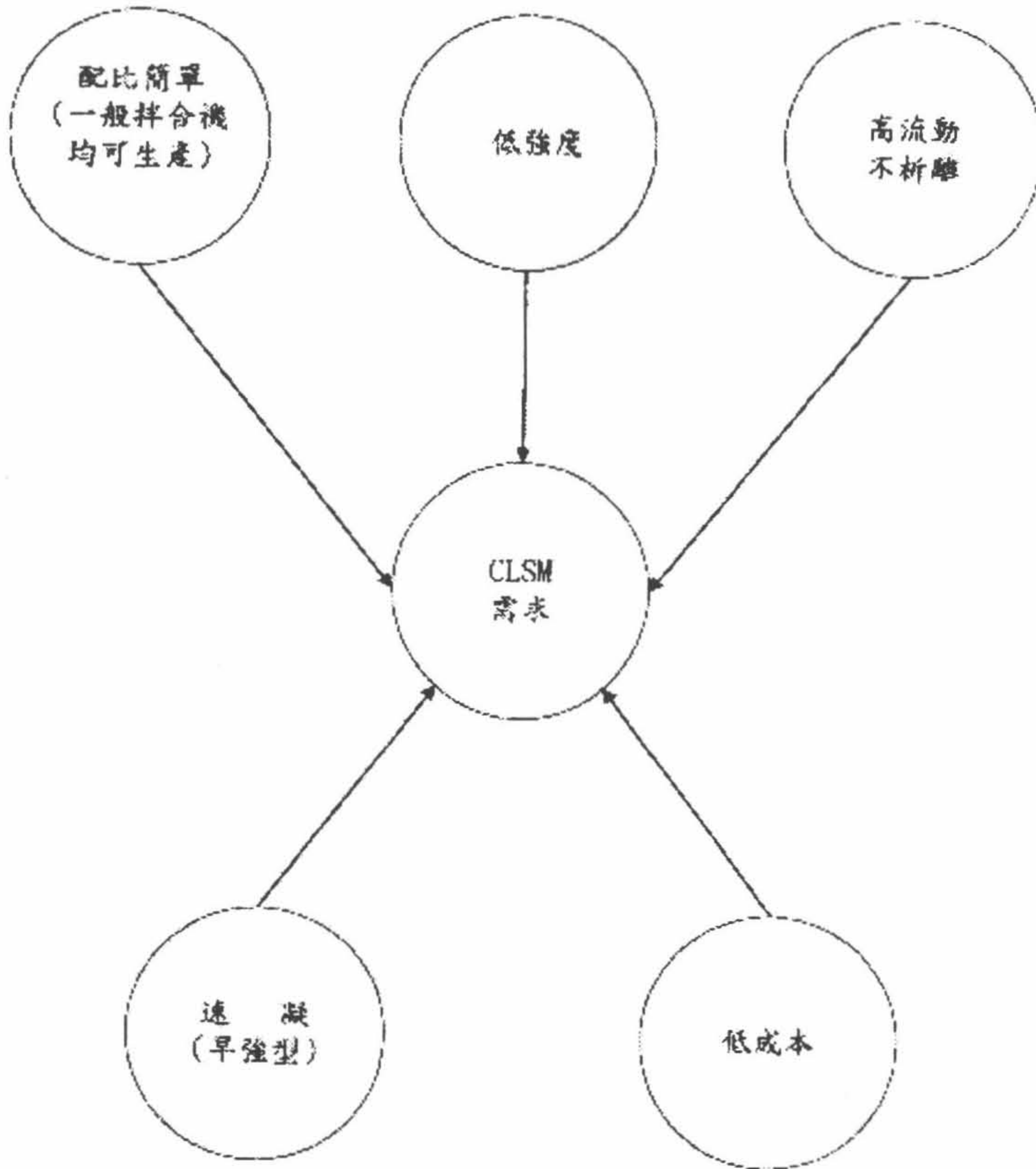


圖 11 CLSM 配比求關係圖

國內的管線開挖相當頻繁嚴重影響交通，傳統方法因施工不易，鋪設後路面凹凸不平，並時常造成路面沈陷不均等現

象，因而極需發展一套有效且快速方法，以提升回填工程之品質。使用符合環保的 CLSM 既可縮短工期又可節省人力機具，應是未來快速施工，應用於眾多管線工程的新產品。而使用再生骨材來生產 CLSM 乃一舉兩得，一方面可減少震災所產生之廢棄物，又可提高管線工程之品質，值得推廣。

CLSM 的製造難點在於配比，尤其是摻料的選擇及添加量。圖 11 為 CLSM 之配比需求關係圖，顯然，要產製出所需 CLSM，需考慮到拌合的便利性、具低強度、高流動且不生析離、低成本等特性。其中，為降低抗壓強度，唯有由減少水泥用量及提高水灰比（ W/C ）兩方面得之，但恐將造成拌合材料缺乏足夠的膠結性而產生泌水及析離，因而必須使用摻料來改善此問題。以下介紹利用再生骨材製作低強度（ $10 - 80\text{kg}/\text{cm}^2$ ）、高流動性 CLSM 的方法。

(2) 使用材料與配比

除標準的水泥、砂外，所使用的再生骨材乃由建築廢棄物經初步篩分後破碎而成，料徑大小視篩網而定，一般之最大粒徑為 4 公分或 2 公分。至於所採用的強塑劑由廠商提供，品質符合美國材料試驗協會 ASTM C494F 和 G - Type 之規定，PH 值在 7(1，比重是 1.1，固體成分為 42(2%。輸氣劑則可產生 30% 以下之空氣含量。

由材料物性分析量測各組成材的細度和粒徑分析，先初步設計出多種配比進行試拌，求出最具經濟性及最佳施工性並符合 CLSM 基本性質要求的配比，包含有一般型及早強型兩種，



如表八所示。一般型 CLSM 的初凝時間約 5 小時，終凝大於 9 小時，1 天強度 $11\text{kgf}/\text{cm}^2$ ，7 天 $43\text{kgf}/\text{cm}^2$ ，28 天 $56\text{kgf}/\text{cm}^2$ 。早強型者初凝時間 4 小時，終凝 7.5 小時，一天強可達 $27\text{kgf}/\text{cm}^2$ 。

(3) 工地實作

台北市養工處為協助管線機構，解決管溝回填材料制式化、減化回填夯實工作，並減少路面修復頻率，特洽商公園路燈管理工程處擇一工程，進行 CLSM 現場試作驗證。採用的配比參考表八稍作調整為：水 $240\text{kg}/\text{m}^3$ 、水泥 $230\text{kg}/\text{m}^3$ 、砂 $1250\text{kg}/\text{m}^3$ 、粗骨材 $400\text{kg}/\text{m}^3$ 、早強劑 $5\text{kg}/\text{m}^3$ 。以此配比由預拌廠生產 CLSM，送到工地澆置於開挖管溝回填，同時測取工程性質得：坍度 23cm，坍流度 40cm，初凝 4 小時，終凝 10 小時，抗壓強度 1 天 $21\text{kgf}/\text{cm}^2$ ，7 天 $47\text{kgf}/\text{cm}^2$ 。

3. 再生材料應用於道路基底層

(1) 背景與目的

道路的底層 (Base course) 與基層 (Subbase course) 介於面層 (Surfacing) 與路基 (Base course) 之間，通常其鋪築材料為碎石級配，煤渣或爐渣等。根據台灣地區高速公路的區分鍊 |，在挖方工程中，路基是在基層下方 30 公分厚的材料，超過 30 公分的材料則稱之為路床，而在填方工程中，路基是在基層下方 75 公分厚的材料，而超過 75 公分者稱之為路床。

以美國華盛頓州建築廢棄物再利用的相關規定為例，再生利用的混凝土碎石 (Recycled Concrete Rubble)，可以單獨使

表八：CLSM 之配比及強度結果

配合比例							
類型	水灰比 (W/C)	砂率 s/a(%)	1m ³ CLSM 所需材料(kg)				
			水	水泥	天然砂	再生骨材	早強劑 (Cacλ)
一般型	1.1	41	240	220	700	1000	1.5%
早強型	0.96	41	220	230	700	1000	2.0%
試驗結果							
類型	凝結時間(小時)				抗壓強度(kgf/cm ²)		
	坍度 (cm)	坍流度 (cm)	初凝	終凝	1天	7天	28天
一般型	23	42	5	9	11	43	56
早強型	-	-	4	7.5	27	-	-

用或與各種原始級配料 (native material) 混合。再生利用的混凝土碎石以及原始級配料，除了須滿足各種級配料的規定外，還須進行洛杉磯磨損試驗、粒徑分布曲線、含砂當量試驗等試驗。

國內到目前為止尚未明確規定建築廢棄物中的水泥混凝土、紅磚、磁磚、屋瓦等材料的再生利用，因此使用上缺乏法源與法規。然而就使用的技術而言，則有不少道路的主管機關如交通部、國工局、公路局、住都處、北高兩市等，已訂有施工規範以及試驗方法，根據各規範中有關道路底層與基層的相關規定，若採取高標準來篩選，則可歸納出適合於規範的底層與基層材料特性，如表九及表十。



表九：可接受之底層與基層材料特性

項次	試驗項目	底層級配料	基層級配料	備註
1	阿太堡試驗： 液性限度(LL)	小於 25	小於 25	
2	阿太堡試驗： 塑性指標(PI)	小於 4	小於 6	
3	含砂當量	大於 40	大於 30	
4	洛杉磯磨損試驗： 磨損率(500 轉)	小於 50	未規定	
5	加州承載比試驗： CBR 值	大於 85	大於 35	亦可以 MR 值試驗以 及 R 值試 驗替代之

表十：可接受之底層及基層材料粒徑範圍

級配規格(粒徑)	通過百分比(%)	
	底層級配料	基層級配料
大於 1.5" (= 37.5mm)	100	100
1.5" (= 37.5mm)	90 ~ 100	87 ~ 100
1" (= 25.0mm)	— — —	— — —
3/4" (19.0mm)	50 ~ 85	45 ~ 90
3/8" (9.5mm)	— — —	— — —
No. 4 (4.75mm)	30 ~ 45	20 ~ 50
No. 30 (0.6mm)	10 ~ 25	6 ~ 29
No. 200 (0.075mm)	2 ~ 9	0 ~ 12

(2) 使用材料與試驗工作

九二一震災所產生的建築拆除物內容，在都市以混凝土為主體，在鄉村地區則含有大量的磚料。試驗研究上因而針對紅磚與混凝土在不同比例的混合下，探討運用在道路基底層的可行性。總共選用 5 種紅磚含量比率（簡稱紅磚率），0、20、37.5、50、以及 100%，分別進行系列試驗，包括比重、阿太堡限度、洛杉磯磨損試驗、含砂當量、夯實試驗及加州承載比試驗，以決定混合料的加州承載比（CBR 值），並與表九之要求做比較。

比重試驗及阿太保試驗的結果顯示，混凝土與磚塊兩種材料皆為非塑性，即其液性限度皆小於表九中所規定的數值 25，而塑性指標也小於規定之數值 4 與 6。至於洛杉磯磨損試驗的磨損率試驗結果如表十一，5 種配比的磨損率都介於 31 ~ 48 之間，小於表九之規定值 50%。

表十一：混凝土與磚塊之磨損率(500 轉)

材料	磨損率(%)
純混凝土(純磚率：0%)	30.9
紅磚率：20%	33.4
紅磚率：37.5%	37.5
紅磚率：50%	40.7
純紅磚(紅磚率：100%)	47.3



值得注意的是紅磚含量例愈大，其磨損率愈高，純紅磚者已相當接近 50% 的磨損率。因此若是要將地震後建築拆除混合物，運用於道路的底層上，可能會因為紅磚之磨損率偏高（大於規定值 50%），而不符合規範之規定。至於道路的基層並無磨損的規定上限，因此地震後建築拆除混合物，應可以運用於道路的基層。

夯實試驗方面係參照 AASHTO 規範，以 10 磅夯實鎚進行改良 Proctor 夯實試驗，分 5 層每層夯實 56 下，5 種紅磚率的夯實試驗結果如圖 12。顯然隨著紅磚含量的增加，其最佳含水量有增加的趨勢，而最大乾密度則呈現減少的趨勢。

另外，又依 AASHTO 規範 T193，進行加州承載比試驗（California Bearing Ratio Test，簡稱 CBR 試驗）。首先對 5 種紅磚率材料根據夯實試驗所獲得之最佳含水量，準備每層夯實 10 下、30 下、以及 65 下的 CBR 試驗，隨之將試體浸水 1 天後，進行 CBR 貫入試驗。最後以相對夯實度 95% 之乾單位重所對應的承載比為該材料之 CBR 值，其數值如表十二所示。

結果顯示隨著紅磚率的增加，其 CBR 值有下降的趨勢，顯示在級配料中紅磚含量增加，將造成整體材料承載力的下降。不過，全紅磚（即紅磚率 = 100%）的 CBR 值達 115.9，其數值仍然高於道路底層級配料的要求（ $CBR > 85$ ）。由此可知，不論建築廢棄物混凝土與紅磚之比例為何，其 CBR 數值應可高於道路底層級配料的要求。

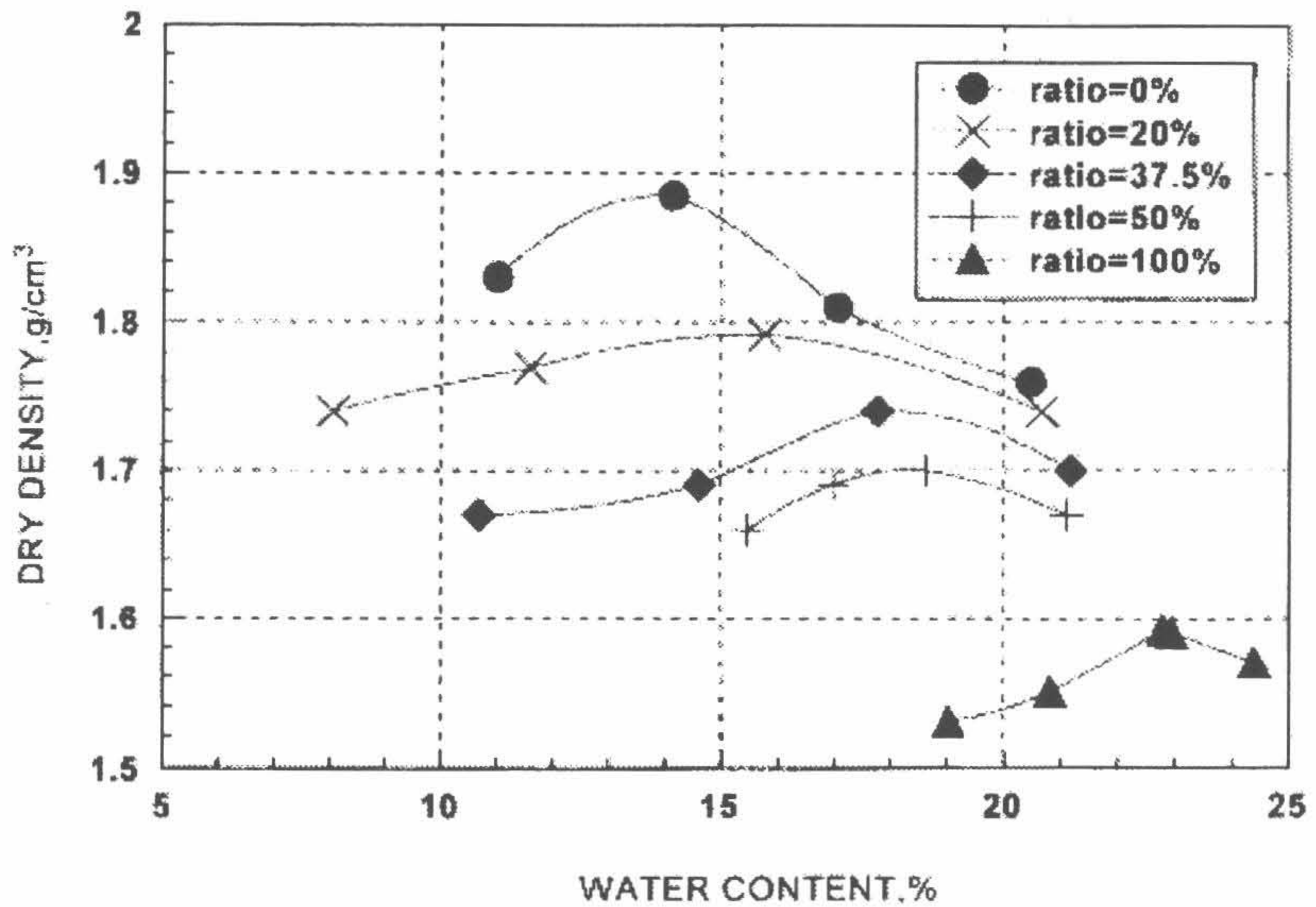


圖 12 各種紅磚比率之材料夯實曲線

十二：各種紅磚率之材料 CBR 值

紅磚率(%)	CBR 值(%)
0	163.2
20	142.4
37.5	135.5
50	138.5
100	115.9



(3) 工地實作

選用台中縣大里市永隆路與德芳二路的建築拆除物堆置場，由機械公司提供的破碎機進行處理。圖 13 為處理後之粒徑分布曲線，依其均勻係數及曲率係數評估，該材料應分類為「級配不良之礫石」。

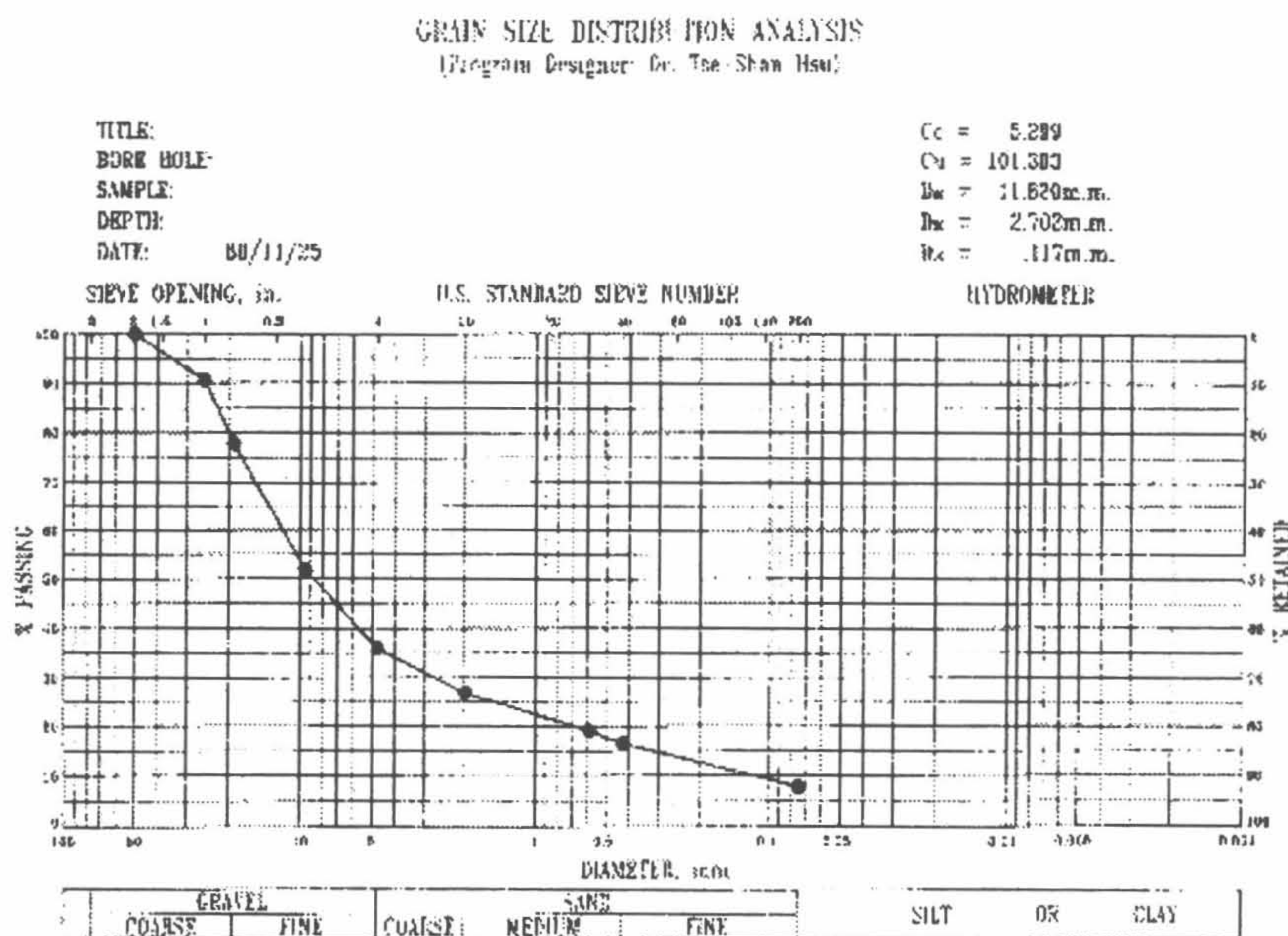


圖 13 大里市堆置場建築拆除物處理後之粒徑分佈曲線

之後，由營造公司將上述破碎材料運至台中縣霧峰鄉進行道路之回填與夯實，對 5 處測點作工地密度試驗。另外，也於現場取樣帶回試驗室進行改良式夯實試驗 (Modified Proctor

Compaction Test)。所得之最佳含水量 $O. M. C = 13.5\%$ ，最大乾密度為 $1.823g/cm^3$ 。由現場 5 處之工地密度試驗結果得相對夯實度分別為，91.52、84.66、88.39、93.08 及 91.46% 槩。該 5 點相對夯實度中有 3 點大於 90%，但仍未達到 95%，根據高速公路局工程標準，此等材料可使用於路基面下 75 公分的路床部分，但是不能運用於「路基」。

4 再生材料應用於填海造地

(1) 背景與目的

台灣地區四面環海，填海造地增加陸地幅員，有其價值性與必要性。近年來國內海埔新生地的開發已積極展開，以作為工業區與海域休閒活動設施建設之用，例如國內在高雄大林蒲海岸進行的「南星計畫」構築海堤方案，即係主要以建築廢棄物掩埋並興建海堤。近鄰的日本在海岸開發上也以填海造地為主，由戰後之沿岸地區開發到以環境保護為主的外海人工島，其土地利用趨於多元化。例如東京夢之島及大阪夢洲曾利用垃圾、產業及建築廢棄物填埋築造人工島，為最具代表性之廢棄物填海造地實例。其他如荷蘭、香港、德國等也都有成功的填海造地經驗。

九二一震災後所產生的建築廢棄物數量相當龐大，其處理與再利用為目前首要標的。利用建築廢棄物進行填海造地工程，國內外已有不少經驗，目前台灣中部地區正好有填海造地之工程進行中，為達環保署回收再利用 40% 之目標，將之用於填海造地工程應屬可行。



(2) 使用材料與作業規範

廢棄物堆置場中所含的物質相當複雜，大致上可分為剩餘土石方、混凝土塊、磚瓦、磁磚、木頭、紙類、衣物、家具、塑膠製品、金屬、瀝青等物質，其中並含大量的有機物質，將直接影響到廢棄物回填造地的土層特性。

在廢棄物填海造地方面，目前國內並無專為此工程需求而擬定的法規，其相關法令中以內政部之「營建廢棄土處理方案」與「海埔地開發管理辦法」為主要依據。由於廢棄物填海造地涉及的法令相當繁多，且分別隸屬於內政部、交通部、農委會、經濟部、國防部、環保署、財政部及各省市政府等不同主管機關，未來有必要進行整合，以利國土之開發與利用。

(3) 國內之廢棄物填海造地經驗及可能之造地區位

目前國內利用海岸地區作為營建廢棄物棄置場的實例中，以高雄市大林蒲海岸棄置場最為人知，該場址自民國 69 年至 76 年間共填築約 80 公頃之新生地。但因規畫未盡完善，高雄環保局乃於民國 77 年春進一步提出「南星計畫」構築海堤方案，由 79 年春開始海堤工程，第一期填築面積約為 42 公頃，填築容積為 350 萬立方公尺，其地點位於鳳林國中以北至台電出水口之間。

之後為配合吸納國建六年計畫產生的大量工程廢棄土方，乃另進行中程計畫，實施地點為鳳林國中以南至鳳鼻頭，長約 3 公里，自 1993 年起分二區興建海堤。第一工區約 50 公頃，已於 1995 年完工開始填築建築廢棄物，預計填築至暴潮位

(2.13M) 後開闢為灰渣衛生掩埋場，可填築約 200 萬立方公尺建築廢棄物及約 150 萬立方公尺灰渣。第二工區自 1998 年 5 月開始施工興建海堤，圍築面積約 120 公頃，預定 2001 年 8 月完工，可填築約 100 萬立方公尺。

目前在台灣西部沿海地區已有多處地點正由工程單位進行造地工程中，若能配合該等工程的作業，採用廢棄物為填方材料，則可消化可觀的九二一建築拆除物。這些填海造地工程主要有彰濱工業區及雲林離島工業區，其可能的廢棄物吸納容量為：線西西區約 46 萬方，崙尾西區防風林帶約 54 萬方，線西西區 100 公頃未造地部分的 500 萬方，雲林離島工業區約 1800 萬方。

由於震災建築拆除物之量相當龐大且須迅速處理，而填海造地所需填方量大，實屬較佳的選擇，不過現行造地單位的主管機關主要為工業局及交通部，如需變更設計，還要呈報主管機關核准後才可實施，故相關規範要求建議先透過部會協商後達成共識，以利後續工作之推動。

六、建築廢棄物應用於營建工程 上之通路

九二一災後建築拆除物中以廢棄混凝土及磚瓦等固體材料為大宗，而依調查資料顯示，有 60% 以上為可回收再利用的資源。對於些廢棄物的處理成粒料以應用於公共工程營建上，



可藉由通路規畫達成之。

進行通路的規畫應涵蓋多項工作，如現況分析、問題之克服、推動策略與措施之規畫、運轉體系及機制、以及相關法令之研修與增訂。再分述如后：

（一）拆除廢棄物特性、質量與料源分布之分析

有關廢棄物特性分析與料源分布已在前文析論，本項工作可以提供初步分類以及分類處理的重要資料，將關係到再利用的成效。

（二）流向調查及現況問題之分析與解決

對於處理後再生材料的接受與應用流向須配合作調查，掌握可能的去處，若能主動開發納用處所更會有助於問題的解決。例如由公共工程主管機關率先指定，使用再生廢棄物於路基、路堤、填海造地或混凝土製品等用途。

（三）研擬解決流向問題、最佳再生處理方法、資源化策略與措施、及工程應用之準則

為能有效率且完善的推動廢棄物的再利用，對於其流向、

再生處理技術、資源化策略與措施、及工程應用須先訂出統一準則以供執行參考與依循。

(四) 規畫廢棄物再利用體系與管理機制

針對建築廢棄物從拆除、分類處理、到最終的再生利用，應有專案管理單位落實執行一貫系統化的控管，以確保再生利用計畫之順利進行，達成廢棄物資源化應用以及減少危害人體衛生健康與環境生態的目標。

(五) 相關法令之修改與增訂

目前我國有關建築廢棄物的回收與再利用的規範還付之闕如，已有的廢棄物清理法雖經多次修正，到 1997 年公布的修訂法案，仍只適用於一般廢棄物。九二一震災後，行政院公布的緊急命令，就是為了因應各項救災、復建所需而發布的暫行法規。為能在短時間內迅速消化大量建築廢棄物，一方面可藉助緊急命令權，排除處理廢棄物時需適用環保法令的規定，而長久之計仍須儘速修改或增訂與建築廢棄物回收及再利用的相關規範。



七、結論

九二一震災後，殘留下來的巨量建築拆除物，已對台灣地區的廢棄物處理工作形成莫大壓力。在衛生掩埋及焚化處理兩種因應對策之外，我們認為儘可能將廢棄物依再生利用處理，應為現階段最具效率的做法。

對於九二一震災中建築物的震害狀況本文先加析述，其次討論震害建築物的特性，分析建築拆除物的內容組成，然後探討廢棄物的回收處理方法及其再生利用技術，提出包括填方、再生混凝土、填海造陸等多種可行方案。最後為使廢棄物得以迅速而有效的回收、處理與再生利用，使成為資源化材料，以應用於營建工程上，乃提出通路規畫，主要如現況問題分析、推動策略、運轉體系與機制，以及法令的修改與增訂，期能順暢打通建築拆除物處理與再生利用過程中的障礙，達成廢棄物轉為營建材料的資源化終極目的。

參考文獻

- 【1】蔡義本、黃明偉、趙曉玲，「1999年9月21日台灣集集大地震的震源與強地動特性初步分析結果」，土木水利，中國土木水利工程學會會刊，第26卷，第3期，1999年11月，第5-18頁。
- 【2】羅俊雄，「集集大地震強地動行為與震害概談」，土木水利，第26卷，第3期，1999年11月，第19-35頁。
- 【3】台灣營建研究院，「九二一震災建築廢棄物再生利用推動計畫」，2000年3月，第1-4頁。
- 【4】顏聰、黃玉麟、陳豪吉，「混凝土廢棄料回收再利用之研究」，內政部建築研究所專題計畫研究成果報告，1997年。
- 【5】T. C. Hansen, "Recycling of Demolished Concrete and Masonry", RILEM Report No. 6, E&FN SPON, London, 1992.
- 【6】T. C. Hansen & H. Narud, "Strength of Recycled Concrete Made from Crushed Concrete Coarse Aggregate", Concrete International / January 1983.
- 【7】M. Tavakoli & P. Soroushian, "Strength of Recycled Aggregate Concrete Made Using Field - Demolished Concrete as Aggregate", ACI Materials Journal / March - April 1996.
- 【8】A. D. Buck, "Recycled Concrete as a Source of Aggregate",



ACI Journal/May 1997.

【 9 】?

【 10 】蔡克銓、王宏遠等，「九二一集集大地震建築物損壞調查結果初步報告」，土木水利，第 26 卷，第三期，1999 年 11 月第 36 - 44 頁。

【 11 】黃榮堯等人，「建築拆除汙染及廢棄物產生現況與調查架構研究」，MOIS 871014，內政部建研所專題研究計畫報告，1998。

【 12 】行政院環境保護署，「九二一震災建築廢棄物再生利用推動計畫」報告，EPA - 89 - H103, FA31 - 03 - 289，2000。

【 13 】陳明良、林慶元，「建築產業廢棄物再利用之研究：臺北都會區建築廢棄物數量與種類之調查研究」，臺灣工業技術學院碩士論文，1996。

【 14 】Mabin, S. M., "Recycled concrete aggregate New York State's experience", Recovery and Effective Reuse of Discarded materials and By - products for Construction of Highway Facilities, FHWA/EPA Symposium Proceedings, Denver, Colorado, 1993.

【 15 】HASABA. S, KAWAMURA. M, TORLLK. K, TAKEMO TO., "Drying Shrinkage and Durability of the Concrete Made of Recycled Concrete Aggregate", Trans of the Japan Concrete Institute, Vol. 3. 1981, PP. 55 - 60

- 【 16 】張世健，「再生混凝土之製造及性質研究」，國立中興大學碩士論文，1997年。
- 【 17 】杉山裕，「東京都舊廳舍撤去工程與東京國際會議廳建設」，土木技術 50 卷 2 號，PP. 64 - 69，1995。
(日文)
- 【 18 】黃南淵等，「建築物拆除行政作業及技術準則」，內政部建研所籌備處專題計畫報告，1991。
- 【 19 】吳學禮，「鋪面、材料工程實務」，詹氏書局，1995。
- 【 20 】Seattle/King County, "Construction Recycling Directory, 1999 - 2000", April, 1999.
- 【 21 】WSDOT - 1994 Standard Specifications, 1994.

九二一震災之建築物震害狀況與 拆除廢棄物之再生利用

摘要

九二一集集大地震後，成千上萬的房屋建築被摧毀或震裂至不堪使用，隨之而來的建築物拆除與重建工作，驟然間平添了 1000 萬方以上的拆除廢棄物。這麼龐大的廢棄物量勢必暫時堆積在島內空曠野地、山谷或河川地上，若未做好妥善的處置，很容易形成二次汙染，危害到生態環境乃至於民衆的生命安全。

就地掩埋或焚化處理固然是最爲簡便的處置法，對遽增的上千萬方建築廢棄物，恐非現有處置場所可吸納，而將廢棄物儘可能的加以再生利用，既可大幅減少廢棄物量，又可轉變成砂石材料資源，應爲最具效益的處理策略。本文因而先介析震害下的建築物損壞狀況，進而分析建築拆除物的物性與其回收再生處理方法以及再生利用技術。最後嘗試提出將建築廢棄物應用於營建工程上的通路，以使廢棄物得以順暢而有效的完成處置與再生利用。

一、前言

20 世紀末 1999 年 9 月 21 日凌晨發生於台灣中部地區的