

高雄市行道樹及其胸徑 與人行道根害關係之研究

章錦瑜

東海大學景觀學系副教授

黃曉菊

東海大學景觀學研究所碩士

摘要

本研究主要針對高雄市 10 種、2113 株行道樹進行實地調查，探討各樹種於不同胸徑對人行道不同硬體(包括植栽穴邊框、鋪面與緣石)之破壞率以及根害程度之關係，根害係指樹木之根群對人行道硬體所造成之破害與毀損。調查發現 10 種行道樹皆已造成嚴重之根害，且胸徑與硬體的破壞率呈顯著正相關，隨胸徑增加硬體的破壞率亦明顯遞增，所造成的根害程度亦越嚴重。其中大葉桃花心木與印度紫檀易形成板根，榕樹、印度橡膠樹與菩提樹幹基易發生地面氣生根，裂葉蘋婆、黑板樹與鐵刀木為淺根性，而樟樹與木棉之幹基會擴張，這些類型的行道樹其根害都較嚴重。冀望本研究結果可做為現已造成嚴重根害之行道樹於未來研擬因應對策的依據，以及新植行道樹為減緩根害之選種參考。

關鍵詞：行道樹、人行道、胸徑、根害、硬體

壹、前言

根害(root damage)指根群對硬體造成之損害(Wagar and Baker,1983; Wong, *et.al.*,1988; Popoola, and Fox, 1996)，國外關於樹木根害方面之研究已超過 40 年(Rex, 1962)，Dwyer 等(2002)發現於 J. Arboriculture 發表有關根害方面的研究論文，過去 25 年只有 3%，但 1998~2000 年明顯增加多篇，預料將成爲未來研究趨勢。國內則於 1999 年由章錦瑜發表第一篇相關論文，但在台灣根害問題也早就出現，尤其是台灣常栽植之行道樹其根害問題亦頗嚴重(章錦瑜，2006)，甚至成爲台灣的綠化災難(章錦瑜，2007)。

位於人行道鋪面下方的樹根會翹起或毀損鋪面，除造成根害外，亦潛伏行人被絆倒的危機(D'Amato *et. al.*, 2002; Costello and Jones, 2003, Smiley, 2008)。而且行道樹根害的修復費用相當昂貴，常浪費許多公帑來修復。Hamilton 與 Davis(1975)調查美國北加州 22 個都市，平均每年花費 27,000 美元修補破損之人行道鋪面。McPherson 與 Peper(1995)以及 McPherson(2000)調查美國每年用於修復鋪面遭樹根破壞的費用超過一億美元。Dodge(2000)發現美國加州每年花費 7000 萬美元處理根害問題，洛杉磯用於人行道的修復費用每年就要 2300 萬美元；人行道鋪面破壞而導致路人受傷，每個案政府賠償金額平均高達 6245 美元，全加州總計費用約需 900 萬美元。2000 年 3 月底美國加州大學 Davis 分校，舉行了一場以“降低樹根對硬體破壞之策略”爲主題的研討會，與會學者認爲導致此問題之最大徵結，乃是樹種選擇錯誤(Dodge,2000)。因著許多相關之根害研究以及研討會，讓美國加州政府開始瞭解之前所栽植的許多行道樹根害都頗嚴重，因而開始改變種樹政策，不再使用那些容易造成根害的行道樹。

樹木根害之破壞率及程度因樹種而異(Wagar and Baker, 1983; Wong, *et. al.*, 1988; Biddle, 1998; Bruce and Armstrong, 1998; McPherson, *et. al.*, 2000; 章錦瑜, 2000、2003; Lesser, 2001)。Francis 等(1996)調查發現大葉桃花心木、榕樹與垂榕之根害較其他樹種明顯嚴重。章錦瑜(1999)調查台中市區常見行道樹，發現根群對鋪面與路緣石之破壞率高達 65.63%。章錦瑜與邵偉榕(2002)調查台北市 10 種行道樹根群對硬體之破壞率，其中以樟樹爲最高，其次爲榕樹與楓香，只有蒲葵未見破壞。Lesser(2001)調查美國南加州 10 種常種植的行道樹，發現 6 種都具破壞性。不同樹種之根害程度具明顯差異，乃因根系生長型態與分佈等之差異所造成，章錦瑜與彭映潔(2005)以及章錦瑜(2008a、2008b)發現易形成板根以及地面氣生根發達之樹木(例如榕樹等)特別容易發生根害。因此各地種植行道樹時必須慎選樹種，以減緩硬體遭根群破壞的情事。

根群對硬體之破壞率及程度除樹種會影響外，胸徑亦具相關性，且不同樹種開始發生根害之胸徑亦有所差異。Wagar 與 Baker(1983)以及 Wong 等(1988)調查發現行道樹根害程度與胸徑呈直線正相關。Wong 等(1988)調查發現多數樹木於胸徑 11~20cm 就開始對鋪面造成破壞；但橡樹與歐洲七葉樹胸徑超過 20cm 才會破壞鋪面。Francis 等(1996)調查發現各樹種開始發生

破壞之胸徑不同，胸徑尚小時破壞率緩慢增加，當胸徑漸增破壞率將快速增加。Randrup(2001)研究發現影響樹木對硬體的衝突因素，包括樹木的胸徑以及生長速率等。D'Amato 等(2002)調查樹木根群於人行道鋪面下方的生長狀況，發現隨胸徑增粗，於幹基四周分佈的粗根(徑 1 公分以上)之比率將越高，對硬體之破壞率也隨之遞增；不同樹種之根系生長狀況具明顯差異，並發現胸徑與根系的粗細以及對硬體所造成的破壞程度呈顯著相關。章錦瑜(1999)之調查發現台中市黑板樹與刺桐之胸徑與對鋪面之破壞程度呈顯著正相關；黑板樹 5 年生植株之幹徑就可能粗達 20~30 公分，鋪面遭破壞就難以避免。章錦瑜與邵偉榕(2002)也證實台北市 9 種具根害之調查樹種，其胸徑與硬體的破壞程度呈顯著之正相關。因此生長快速的中、大喬木，因其胸徑短時間會變得粗大，較易破壞硬體。

台灣有關樹木根害之研究仍有待持續進行，之前已針對台中市以及台北市之常見行道樹的根害進行調查(章錦瑜，1999；章錦瑜與邵偉榕，2002)。因各大都市栽植之主要行道樹有所不同，冀望建立台灣主要三大都市常見行道樹之根害基本資料，因此本研究將針對高雄市常見 10 種行道樹，採實地調查方式進行根害研究，雖然影響根害之因素頗多，但限於篇幅受限，本文將針對不同行道樹之種類及其胸徑，對人行道不同硬體(包括邊框、鋪面與路緣石)所造成之根害(破壞率與破壞等級)，及其相關性進行探討，冀望研究結果可供相關單位參考，做為日後行道樹選種之依據。本研究主要針對高雄市 10 種行道樹，研究目的與假設說明如下：

研究目的：

- 一、探討各樹種之根型特性。
- 二、探討各樹種之胸徑對人行道不同硬體之破壞率及其關係。
- 三、探討樹種不同胸徑對各類硬體之破壞等級及其差異。

研究假設：

- 一、各樹種之胸徑對人行道不同硬體之破壞率具相關性。
- 二、各樹種不同胸徑對各類硬體造成之破壞等級具差異性。

貳、研究方法

本研究採實地調查方法，以高雄市區為調查範圍，選擇種植數量較多的 10 種行道樹，包括：樟樹、印度紫檀、黑板樹、裂葉蘋婆、鐵刀木、印度橡膠樹、菩提樹、木棉、大葉桃花心木與榕樹(靜宜大學通識教育中心，1999；高雄市政府工務局養護工程處，2001)。選擇調查之道路其人行道之植栽穴邊框、鋪面或緣石於調查日期之前 5 年內未更新者，選擇調查之樹木胸徑至少 10 公分以上，乃根據以往章錦瑜(1999)以及章錦瑜與邵偉榕(2002)之調查結果，發現 10 公分以下樹木較不會造成硬體毀損。所列入調查的行道樹都必須栽植於植栽穴內、且具有植穴邊框者，經初勘後選擇 24 條道路、2113 株列入調查，詳見表 1。

表 1 調查行道樹之基本資料

樹種	學名	調查地點	數量
樟樹	<i>Cinnamomum camphora</i>	四維路(民權路至林森路)、民權路(三多路至五福路) 民生路(民權路至福建路)	262
印度紫檀	<i>Pterocarpus indicus</i>	德民路(高楠公路至特殊學校) 大順路(民族路至龍華橋、民族路至大豐二路)	256
黑板樹	<i>Alstonia scholaris</i>	民族一路(明誠路至民族路 543 巷、大順一路至明誠一路) 自由路(大順一路至明誠一路)	251
裂葉蘋婆	<i>Sterculia foetida</i>	莊敬路(大昌一路至大順路)、德民路(海專路至德惠路) 大順路(民族一路至自由路)	243
鐵刀木	<i>Cassia siamea</i>	凱旋路(一心路至中正路)	234
印度橡膠樹	<i>Ficus elastica</i>	義華路(中山高速公路至陽明路)、光武路(九如一路至覺民路) 五福路(公園二路至大安街)、成功路(五福路至光復一街) 忠孝路(民生路至五福路)	212
菩提樹	<i>Ficus religiosa</i>	九如三路(同盟路至博愛路)、民族一路(建工路至龍江街)	210
木棉	<i>Bombax ceiba</i>	明華路(博愛路至華榮路)、林森路(五福路至民生路)	157
大葉桃花心木	<i>Swietenia macrophylla</i>	同盟路(九如三路至中華路、博愛路至安東街)	153
榕樹	<i>Ficus microcarpa</i>	九如路(大順路至澄清路) 中正路(南台路至中華三路)、民族路(民生路至建國路)	135
總計			2,113

戶外調查先進行初勘，之後設計適用之調查表，實際調查時首先進行拍照工作，照片可做為之後於室內驗查記錄表之資訊所用；另外當場記錄每株行道樹之根型、胸徑，以及植栽穴之不同硬體(包括：邊框、鋪面與緣石)遭樹根破壞的狀況，分項記錄於調查表中。

一、調查項目

(一)、胸高直徑

簡稱胸徑，指立木離地面 130 公分高處的樹幹連皮之直徑(金恆鑣主譯，1997)。

(二)、破壞率

破壞株數/總調查株樹%即為破壞率(%)。

(三)、破壞程度分級

針對每株行道樹調查其根群對人行道不同硬體之破壞狀況，評定破壞等級並記錄之，詳見表 2。破壞狀況之調查項目包括：造成裂縫的數目、長度與寬度，以及水平位移距離與垂直抬升高度(以破壞處四周原本正常狀態為準)。本研究之分級標準乃參考 Wong 等(1988)調查方法，調整後以適用本調查。無破壞則記錄為 0，根害造成水平位移與垂直抬升，若距離或高度少於或等於 2 公分之破壞分級為 1，2~5 公分為 2，大於或等於 5 公分為 3。另外還包括裂縫，邊框與緣石之裂縫長度多小於 30 公分，因此不另外計算其長度；如裂縫 1 條、寬度小於 1 公分，則破壞等級為 1。裂縫 1 條、寬度卻超過 1 公分，或裂縫至少 2 條、但寬度均小於 1 公分時，破壞等級為 2。裂縫至少 2 條、且寬度有超過 1 公分者，破壞等級為 3。但鋪面裂縫長度變化較大，因此列入測量項目，鋪面之裂縫長度於植穴邊框外緣開始計算，如裂縫 1 條、寬度小於 1 公分，長度不超過 30 公分，則破壞等級為 1。裂縫 1 條、寬度卻超過 1 公分，或長度介於 30~60 公分；或裂縫至少 2 條、但寬度均小於 1 公分，但長度卻有一條超過 60 公分，破壞等級為 2。裂縫至少 2 條、且寬度有超過 1 公分或長度有一條超過 60 公分，破壞等級為 3。所有度量以公分為單位。不同硬體先分別計算造成各種破壞之等級(1~3)，相加後得到各硬體的破壞總等級，範圍值介於 1~9。

表 2 邊框、緣石與鋪面造成之裂縫等級評定

破壞程度等級		1	2	3
水平位移與垂直抬升		$D \leq 2$	$5 > D > 2$	$D \geq 5$
裂 縫	邊框、緣石	$N=1, W < 1$	$N=1, W \geq 1; N \geq 2, W < 1$	$N \geq 2, W > 1$
	鋪 面	$N=1, W < 1, L \leq 30$	$N=1, W \geq 1; N \geq 2, W < 1, 30 < L \leq 60$	$N \geq 2, W > 1, L > 60$

註：D：水平位移與垂直抬升距離，L：長度，W：寬度，除 N 為數目外，其他單位均為公分

二、統計分析

除描述性統計計算各樹種於不同胸徑對硬體的破壞率以及破壞級數之百分比外，並將胸徑與邊框、鋪面及緣石之破壞率進行 Spearman 相關分析，探討其間之相關性；另外再針對樹種於不同胸徑對各類硬體所造成破壞等級之百分比，經由百分比同質性考驗亦即卡方檢定，探討其間是否具顯著差異。

參、結果與討論

一、樹種根型特性及其對不同硬體之破壞率

各樹種不同胸徑對硬體的破壞率見表 3，將本次調查的 10 種行道樹，依其根型態分以下四類說明如下：

(一)、板根型

板根型的行道樹包括大葉桃花心木與印度紫檀。大葉桃花心木幹基易形成板根，老樹板根非常高且壯觀(章錦瑜、彭映潔，2005；章錦瑜，2008a)，但水平根亦發達而粗大，密集於土壤上層，亦具深層根(顏正平，1973)，本調查發現 38.09% 植株出現板根。共調查 147 株，胸徑範圍 12~58 公分，胸徑 20 公分以下之邊框較緣石與鋪面的破壞率高，而緣石的破壞率僅 31.71%，可能是因為緣石離樹幹較遠，且樹幹較細時較不會破壞緣石。但胸徑超過 20 公分，邊框與鋪面的破壞率均高達 100%，胸徑超過 30 公分則均破壞(代表邊框、鋪面與緣石均遭到破壞)，全體調查植株 59.18% 均破壞。印度紫檀老樹幹基可能形成板根(章錦瑜，2008a)，共調查 260 株，胸徑範圍 10~60 公分，胸徑超過 10 公分就會 100% 破壞邊框，30 公分以上 100% 均破壞。會形成板根的喬木隨樹齡其幹基擴張、並於地面上形成直立且壯觀之板根，對周邊之硬體具強大之破壞性，人行道窄小植穴內較不適合栽植此類根型的行道樹(章錦瑜，2007；章錦瑜，2008a)。

表 3 樹種不同胸徑對硬體的破壞率(%)

胸徑(cm)	樹種	株數	邊框	鋪面	緣石	均破壞
10~19	大葉桃花心木	82	96.34	91.46	31.71	30.49
	榕樹	1	100.00	0.00	0.00	0.00
	印度橡膠樹	18	66.67	44.44	66.67	33.33
	樟樹	8	100.00	75.00	62.50	62.50
	木棉	51	90.20	52.94	58.82	37.25
	印度紫檀	20	100.00	95.00	55.00	55.00
	裂葉蘋婆	16	100.00	100.00	100.00	100.00
	黑板樹	31	80.65	48.39	22.58	19.35
	鐵刀木	52	82.69	78.85	38.46	32.69
20~29	大葉桃花心木	49	100.00	100.00	93.90	93.90
	榕樹	99	89.90	78.79	78.79	66.67
	印度橡膠樹	106	85.22	74.78	91.30	69.57
	菩提樹	37	100.00	100.00	45.95	45.95
	樟樹	175	98.86	91.43	87.43	80.57
	木棉	106	86.79	81.13	95.28	75.47
	印度紫檀	95	100.00	96.84	85.26	82.11
	裂葉蘋婆	151	100.00	99.34	96.69	96.03
	黑板樹	89	96.63	92.13	41.57	39.33
鐵刀木	67	98.51	95.52	85.07	82.09	
≥30	大葉桃花心木	16	100.00	100.00	100.00	100.00
	榕樹	35	100.00	100.00	100.00	100.00
	印度橡膠樹	88	100.00	100.00	100.00	100.00
	菩提樹	173	100.00	100.00	90.75	90.75
	樟樹	77	100.00	100.00	100.00	100.00
	木棉	7	100.00	100.00	100.00	100.00
	印度紫檀	145	100.00	100.00	100.00	100.00
	裂葉蘋婆	76	100.00	100.00	100.00	100.00
	黑板樹	132	100.00	99.24	91.73	91.67
鐵刀木	116	100.00	100.00	100.00	100.00	

(二)、幹基易發生地面氣生根型

幹基易發生地面氣生根的行道樹包括榕樹、印度橡膠樹與菩提樹。榕樹根系為淺根性，幹基易發生地面氣生根到處亂竄伸展，亦可能形成板根，為破壞人行道硬體的主因(顏正平，1973；刘住昇，1991；章錦瑜與彭映潔，2005；章錦瑜，2008a、2008b)。榕樹共調查 135 株，胸徑範圍 13~55 公分，74.81%均破壞；87.40%植株的根系延伸至植穴外，胸徑超過 20 公分就開始造成均破壞，30 公分則 100%均破壞。此結果符合章錦瑜與邵偉榕(2001)調查發現台北市之榕樹隨胸徑加大，根系伸出植穴外的比例越高，且榕樹胸徑超過 20 公分對鋪面就具破壞力。印度橡膠樹共調查 212 株，77.83%均破壞，胸徑範圍 14~65 公分，根系型態類似榕樹，胸徑超過 30 公分造成 100%均破壞。菩提樹於高雄市種植做為行道樹之數量較台北市以及台中市為多，本研究共調查 210 株，胸徑範圍 20~65 公分，亦為桑科榕屬，故根系型態類似榕樹與印度橡膠樹，胸徑超過 20 公分就會破壞邊框與鋪面，超過 50 公分緣石亦完全遭破壞，所有調查的菩提樹均破壞鋪面與邊框。

(三)、淺根型

淺根性的行道樹包括裂葉蘋婆、黑板樹與鐵刀木。裂葉蘋婆共調查 243 株，胸徑範圍 10~39 公分。邊框全遭破壞，只有 1 株未破壞鋪面，5 株未破壞緣石。胸徑超過 10 公分就可能 100%均破壞。黑板樹共調查 252 株，胸徑範圍 10~55 公分，胸徑 20 公分以下時，邊框破壞率較高(80.65%)、而緣石較低(22.58%)。胸徑超過 30 公分，邊框 100%破壞，其他硬體破壞率以及均破壞率都超過 90%。鐵刀木共調查 235 株，胸徑範圍 10~49 公分，胸徑超過 30 公分 100%均破壞率。此三種樹木之根系特色為淺根性，主要的粗根都貼近鋪面生長，無主根，有水平根及垂下根(顏正平，1973)，因此對植栽穴周邊硬體易造成嚴重破壞。植穴周邊硬體遭破壞都是由那些位於鋪面下方 40 公分內之快速生長的根所造成，尤其是緊貼鋪面下方根徑已達 10 公分以上的根為罪魁禍首，因此淺根型的行道樹很容易破壞植穴周邊之硬體(Bruce and Armstrong,1998)。

(四)、幹基擴張型

幹基擴張型的行道樹包括樟樹與木棉。樟樹共調查 260 株，胸徑範圍 10~55 公分，當胸徑超過 10 公分就會破壞邊框，胸徑超過 30 公分則均破壞。木棉共調查 164 株，胸徑範圍 15~35 公分，88.41%木棉破壞邊框。胸徑超過 30 公分 100%植株均破壞。樟樹與木棉之幹基會擴張，無主根，具粗大水平根或斜出根，且根群多集生近地表上層地，木棉甚至會形成板根(顏正平，1973；刘住昇，1991；章錦瑜與邵偉榕，2002)，此根群型態特性因而造成硬體嚴重破壞。

二、 樹種胸徑與不同硬體破壞率之關係

將本次調查之 10 種行道樹之胸徑與邊框、鋪面及緣石之破壞率進行 Spearman 相關分析，結果見表 4，顯示胸徑與各種硬體的破壞率均具顯著正相關，隨胸徑增加對硬體的破壞率明顯遞增。都市行道樹隨樹齡增加胸徑亦遞增（高清、鄭榮峰，1998），本研究結果與 Wagar 與 Baker(1983)、Wong 等(1988)、Francis 等(1996)、章錦瑜(1999)、Randrup(2001)、D'Amato 等(2002)、以及章錦瑜與邵偉榕(2002)等調查發現行道樹對硬體之破壞率與胸徑呈直線正相關之結果相符合。

表 4 樹種胸徑與不同硬體破壞率之相關係數

樹種	邊框	鋪面	緣石	樹種	邊框	鋪面	緣石
大葉桃花心木	0.701**	0.758**	0.793**	木棉	0.528**	0.542**	0.726**
榕樹	0.716**	0.683**	0.557**	印度紫檀	0.783**	0.766**	0.802**
印度橡膠樹	0.479**	0.508**	0.580**	裂葉蘋婆	0.576**	0.594**	0.664**
菩提樹	0.378**	0.162*	0.663**	黑板樹	0.641**	0.707**	0.676**
樟樹	0.585**	0.507**	0.645**	鐵刀木	0.445**	0.426**	0.794**

* P<0.05, ** P<0.01

三、 樹種不同胸徑對各類硬體之破壞等級及其差異

針對各調查樹種分別探討於何胸徑開始產生破壞，以及不同胸徑造成各類硬體之破壞等級之%。再經由百分比同質性考驗，探討其間是否具顯著差異。

(一)、邊框

調查樹種對邊框之破壞等級見附錄 1，所有調查樹種胸徑 10 公分以上都會破壞邊框，甚至造成 7 級破壞，胸徑 10~19 公分多造成 1~3 級破壞，其中大葉桃花心木以及鐵刀木較具破壞性，會造成邊框 7 級破壞，其次為木棉與黑板樹會造成 6 級破壞，樟樹、印度紫檀與裂葉蘋婆則較輕微，最多僅造成 4 級破壞。但胸徑 20~29 公分破壞級數則提升至 4~5 級較多，但所有 10 種行道樹亦都出現 7 級破壞。隨胸徑增加破壞等級均提高，如胸徑超過 40 公分，對邊框破壞均達 4 級以上，其中榕樹有高達 9 級破壞，乃因榕樹的地面氣生根非常發達，會就近鑽入邊框而造成嚴重破壞。各樹種不同胸徑對邊框所造成之破壞等級的百分比，經由百分比同質性檢定，其卡方統計量見表 5，顯著性機率值 P 均達到 0.001 顯著水準，表示不同胸徑造成邊框之各破壞等級百分比間有顯著差異，胸徑越大、破壞等級顯著增加。

表5 樹種不同胸徑對邊框破壞等級之卡方統計量

樹種	Pearson 卡方值	自由度	樹種	Pearson 卡方值	自由度
大葉桃花心木	451.952	18	木棉	370.409	12
榕樹	608.510	24	印度紫檀	483.659	15
印度橡膠樹	226.276	18	裂葉蘋婆	165.836	10
菩提樹	87.975	10	黑板樹	307.874	18
樟樹	374.165	18	鐵刀木	212.801	18

(二)、鋪面

調查樹種對鋪面之破壞等級見附錄 2，胸徑 10~19 公分平均 69.76%的植株對鋪面造成 1~2 級破壞為多；其中大葉桃花心木、印度橡膠樹以及鐵刀木對鋪面的破壞可達 6 級，但僅是少數植株所造成。胸徑 20~29 公分平均 47.39%的植株造成 4~5 破壞為較多，而 6 級破壞之平均值僅 22.18%。30~39 公分則平均高達 91.08%的植株造成 5~6 級破壞，但其中平均高達 70.22%的植株造成 6 級破壞。40 公分以上平均有 91.20%的植株造成 5~6 級破壞，因此胸徑超過 30 公分，就會有 90%以上的植株造成 5~6 級破壞，各樹種均具此趨勢。各樹種不同胸徑對鋪面所造成破壞等級之百分比，經由百分比同質性檢定之卡方統計量見表 6，除菩提樹之顯著性機率值 P 達 0.01 顯著水準外，其他均達到 0.001 顯著水準，表示不同胸徑造成鋪面之破壞等級百分比間有顯著差異，胸徑越大、鋪面之破壞等級顯著增加。

表 6 樹種不同胸徑對鋪面破壞等級之卡方統計量

樹種	Pearson 卡方值	自由度	樹種	Pearson 卡方值	自由度
大葉桃花心木	405.205	15	木棉	361.078	10
榕樹	534.845	15	印度紫檀	426.889	15
印度橡膠樹	259.243	15	裂葉蘋婆	300.000	8
菩提樹	25.091	8	黑板樹	360.244	15
樟樹	589.590	15	鐵刀木	160.983	15

(三)、緣石

調查樹種對緣石之破壞等級見附錄 3，胸徑 10~19 公分有平均 79.91%的植株對鋪面造成 1~2 級破壞，僅少數植株造成 3~5 級破壞。胸徑 20~29 公分平均 57.46%植株造成 2~4 破壞較多，但僅 12.43%植株造成 6 級以上破壞。胸徑 30~39 公分造成 5 級以上之破壞較多，平均值為 72.08%，雖有少數植株造成 9 級破壞，但平均僅 14.05%。胸徑超過 40 公分則有 74.31%植株造成 6 級以上之破壞較多，另有植株造成 9 級破壞，平均值為 22.86%。各樹種不同胸徑對緣石所造成各破壞等級之百分比，經由百分比同質性檢定之卡方統計量見表 7，顯著性機率值 P 均達到 0.001 顯著水準，表示不同胸徑造成緣石之破壞等級百分比間有顯著差異，隨胸徑增加緣石之破壞等級亦顯著增加。

表 7 樹種不同胸徑對緣石破壞等級之卡方統計量

樹種	Pearson 卡方值	自由度	樹種	Pearson 卡方值	自由度
大葉桃花心木	606.653	21	木棉	331.045	16
榕樹	497.019	24	印度紫檀	425.673	24
印度橡膠樹	319.549	24	裂葉蘋婆	252.997	16
菩提樹	143.462	16	黑板樹	259.521	24
樟樹	434.818	24	鐵刀木	538.075	21

Bruce 與 Armstrong(1998)調查發現植栽穴四周的石板邊框，若厚實且施工堅固，將足以完全阻擋根系入侵破壞。但本次調查之街道的人行道，植穴邊框都是很簡單的設計與施作，僅具造型功能，不夠厚實堅固，因此不具阻擋根群鑽入之功能，再加上邊框鄰近樹幹，因而較鋪面與緣石造成較嚴重之破壞。行道樹種植的位置與硬體破壞程度頗為相關，愈接近行道樹種植位置的硬體遭破壞之程度亦愈大(Sommer and Cecchetti,1992)。人行道硬體遭破壞多因為其下方 40 公分土層內之快速生長的根群、尤其那些根徑已粗達 10 公分以上的根系所造成；而且根系之再次加粗多發生於樹幹基部附近，特別是幹基四周 1m 直徑範圍內，故此範圍內之硬體破壞也最嚴重(Wong, *et. al.*,1988; Nicoll and Ray,1996; Bruce and Armstrong,1998)，本調查之邊框離幹基最近，因此破壞等級較鋪面來得嚴重，符合相關研究之結果。緣石本身多厚實堅固，本次調查之鋪面破壞多 6 級以下，邊框破壞級數最高為 7 級，但緣石破壞級數當胸徑超過 20 公分即有 9 級破壞發生，因本次調查發現鋪面的裂縫多不長，乃因調查之人行道鋪面使用的是連鎖磚與金錢磚，不似水泥鋪面容易造成裂縫，此 2 種鋪面較容易造成垂直抬升，因此累計的總破壞級數較低。至於緣石總破壞級數可高達 9，乃因所有緣石破壞都是從接縫處發生，包括各緣石單位間以及緣石與鋪面間之接縫處，這些部份因連結強度不夠，讓根群容易見縫鑽入，不僅造成緣石移位，亦同時造成抬高以及裂縫等，因累計多項破壞級數致總破壞級數較高。再加上調查地點之植穴較小，當樹幹粗大後，有些粗樹幹基頗接近緣石，因而對緣石造成較嚴重的破壞。

肆、結論與建議

本研究針對高雄市常見 10 種行道樹，調查根群對三種植栽穴周邊硬體之破壞狀況，發現本次調查的 10 種行道樹均已造成硬體毀損，無一倖免。甚至胸徑 10 公分就開始產生破壞，表示高雄市常栽植的行道樹都是對硬體破壞性相當強的樹種，這類樹種栽植於都市窄小植穴內，讓植穴周邊硬體破損或翹起，不僅增加維修管理的經費與麻煩，路人也增加行走時之危機。行道樹根系毀損硬體之影響因素很多，本次調查僅針對根型與胸徑之影響因素。結果發現所有調查樹種之胸徑與破壞率均呈顯著正相關，另外各樹種不同胸徑對各類硬體造成之破壞等級亦具差異性，胸徑越大所造成之破壞級數也因而遞增。

本次調查之行道樹之幹基與根群型態可分 4 大類，板根型(印度紫檀與大葉桃花心木)、地面氣生根群(榕樹、印度橡膠樹與菩提樹)、淺根性(黑板樹、裂葉蘋婆與鐵刀木)以及幹基擴張型(樟樹與木棉)，這四種根型的行道樹都是對硬體較具破壞性的。再加上它們多生長快速，破壞無可避免。桑科榕屬的榕樹、印度橡膠樹與菩提樹已被台北市以及台中市定位為人行道的殺手，日後不再種植這類樹種做行道樹(章錦瑜, 2004、2005)。因此建議高雄市亦可比照辦理，本次調查的其他行道樹未來若要種植於植穴內，最好給予較大的植穴空間，否則根害難以避免。另外植穴所設置之邊框若不夠強固，無法對根?提供阻擋與抑制效果時，就不要設計，免得造成更多破壞。鋪面以及路緣石亦需更講究其設計、施工亦需精良以減輕毀損。

人行道硬體之根害程度的影響因素相當複雜且多元化，除本文所探討之樹種根型以及胸徑外，尚包括人行道的設計方式，鋪面種類、鋪設方法、材料與施工等；以及植穴表面是否有地被植物，植栽穴之大小與植栽帶的寬度，植穴或植槽的土壤體積與土壤特性等；甚至維護管理的方式也會影響植物根群對硬體毀損之差異 (Francis *et. al.*, 1996; Marshall and Gilman 1997; Randrup *et. al.*, 2001; Rajani, 2002; 章錦瑜, 2000; Costello and Jones 2003)。但限於篇幅，本文僅探討樹種及其胸徑與根害程度的關係，建議未來可以針對其他影響因素再進行多元化之深入探討。

早期美國常栽植的行道樹多為具根害的樹種，它們的特色為生長快速，短時間就長大被販售，苗圃亦樂於栽培，可以低價標到有利潤之植栽工程；但這些生勢強旺、生長快速的樹木，定植不久就容易發生根害，造成日後持續性花費而得不償失(Wagar and Baker, 1983)。本次調查高雄市區種植數量較多的 10 種行道樹亦都頗具破壞性，建議未來選擇無根害之都市行道樹時，應注意該樹種的根型，避免種植淺根性、幹基會膨大、地表易著生氣生根，以及會形成板根之喬木；最好選擇深根型喬木。至於生長快速、短時間胸徑會迅速增粗的行道樹，亦應避免栽種。

伍、參考文獻

- 刈住昇 (1991) 樹木根系圖說。誠文堂新光社，東京。
- 金恆標主譯 (1997) 森林學概論。國立編譯館，台北市。
- 高清、鄭榮峰 (1998) 都市林樹木胸徑與樹冠面積相關性之研究。國立臺灣大學農學院實驗林研究報告 12(1)：51-58。
- 高雄市政府工務局養護工程處 (2001) 高雄市行道樹導覽手冊。高雄市政府，高雄。
- 章錦瑜 (1999) 台中市行道樹之根系對鋪面與路緣石破壞程度之調查。東海學報 40(6)：49-55。
- 章錦瑜 (2000) 植物根群及其對構造物之破壞。科學農業 48(11, 12)：314-321。
- 章錦瑜 (2003) 樹種其根系對硬體破壞之影響。科學農業 51(1, 2)：19-23。
- 章錦瑜 (2004) 論台灣常見行道樹之問題。林業研究季刊 26(3)：83-102。
- 章錦瑜 (2005) 論台灣常見行道樹之問題(續)。林業研究季刊 27(2)：77-90。
- 章錦瑜 (2006) 漫談栽植行道樹之利與弊。環保資訊月刊 104：<http://www.fengtay.org.tw/>。
- 章錦瑜 (2007) 漫談台灣的綠化災難。科學月刊 449：370-373。
- 章錦瑜 (2008a) 論台灣常見觀賞喬木之板根特色。林業研究季刊 30(1)：77-84。
- 章錦瑜 (2008b) 探討樹木之地表氣生根對硬體造成的根害。林業研究季刊 30(2)：65-74。
- 章錦瑜、邵偉榕 (2002) 台北市人行道上行道樹對硬體毀損之研究。東海學報 43(6)：105-114。
- 章錦瑜、彭映潔 (2005) 台灣平地常見六種觀賞喬木其板根於自然環境形成之研究。東海學報 46：165-175。
- 靜宜大學通識教育中心 (1999) 高雄市行道樹之生態化研究。高雄市政府研究發展考核委員會，高雄市。
- 顏正平 (1974) 水土保持木本植物根系分佈類型研究。中國文化大學三民主義研究所博士論文。
- Barker, P. A., and P. Peper (1995) Strategies to prevent damage to sidewalks by tree roots. *Journal of Arboriculture* 19:295-309.
- Biddle, P. G. (1998) Tree roots and foundations. *Arboriculture Research and Information note nr. 142-98-EXT*. In *Arboricultural Advisory and Information Service*. Surrey, UK.
- Bruce, C. N. and A. Armstrong (1998) Development of prunus root systems in a city: pavement damage and root architecture. *Arboricultural Journal* 22:259-270.
- Costello, L., and K. Jones (2003) *Reducing Infrastructure Damage by Tree Roots: A Compendium of Strategies*. Western Chapter ISA, Cohasset CA.
- Costello, L. R., and K. S. Jones (2003) *Reducing infrastructure damage by tree roots: A*

- compendium of strategies. International Society of Arboriculture, Cohasset, CA. 119 pp.
- Costello, L. R., C. L. Elmore, and S. Steinmaus (1997). Tree root response to circling root barriers. *Journal of Arboriculture* 23:211-218.
- D'Amato, N. E., Sydnor, T. D., R. Hunt, and B. Bishop (2002) Root growth beneath sidewalks near trees of four genera. *Journal of Arboriculture* 28(6):283-289.
- Dodge, L. (2000) Tree root and urban infrastructure conflicts : symposium sets research and education goals. *Growing points* 4(2,3):1-11.
- Dwyer, J. F., D. J. Nowak, and G. W. Watson (2002) Future directions for urban forestry research in the united states. *Journal of Arboriculture* 28(5):231-236.
- Francis, J. K., B. R. Parresol, and J. M. de Patino (1996) Probability of damage to sidewalks and curbs by street trees in the tropics. *Journal of Arboriculture* 22(4):193-197.
- Gilman, E. F. (1996). Root barriers affect root distribution. *Journal of Arboriculture* 22:151-154.
- Gilman, E. F. (2006). Deflecting roots near sidewalks. *Arboriculture and Urban Forestry* 32:18-22.
- Hamilton, W. D. and W. Davis (1975) Street tree root problem survey Univ. of California Coop. Extension Service. Alameda County.3pp.
- Lesser, L. M. (2001) Hardscape damage by tree root. *Journal of Arboriculture* 27(5):272-276.
- Marshall, M., and E. F. Gilman (1997) Production method and irrigation affect root morphology of live oak. *Journal of Environmental Horticulture* 15:84-87.
- McPherson, E. G. (2000) Expenditures associated with conflicts between street trees root growth and hardscape in California. *Journal of Arboriculture* 26:289-297.
- McPherson, E. G., and P. Peper (1995) Infrastructure repair costs associated with street trees in 15 cities. In Watson, G.W., and D. Neely (Eds.). *Trees and Building Sites: Proceedings of an International Workshop on Trees and Buildings*. International Society of Arboriculture, Champaign, IL.
- McPherson, E. G., L. R. Costello, E. Perry, and P. Peper (2000) Reducing tree root damage to sidewalks in California cities: A collaborative study. In Report of the Elvenia J. Slosson Fund for Ornamental Horticulture 1998-1999 (L. Dodge, ed.), pp. 8-12. University of California, Davis, Division of Agriculture and Natural Resources.
- Nicoll, B. C. and D. Ray (1996) Adaptive growth of tree root systems in response to wind action and site conditions. *Tree Physiol* 16:891-898.
- Popoola, T. O .S. and R. T. V. Fox (1996) Effect of root damage on Honey Fungus. *Arboricultural Journal* 20:329-337.

- Rajani, B. (2002) Behavior and Performance of Concrete Sidewalks: Construction Technology Update #54. Institute for Research in Construction, National Research Council of Canada, Ottawa, ON.
- Randrup, T. B., E. G. Mcpherson, and L. R. Costello (2001) A review of tree root conflicts with sidewalks, curbs, and roads. *Urban Ecosystems* 5:209-225.
- Rex, E. G. (1962) Liability in case of sidewalk accidents. *Proc. Int. Shade Tree Conf.* 38:97-98.
- Smiley, E. T. (2008) Comparison of Methods to Reduce Sidewalk Damage from Tree Roots. *Arboriculture & Urban Forestry* 34(3):179-183.
- Sommer, R. and C. L. Cecchetti (1992) Street tree location and sidewalk management preference of urban householders. *Journal of Arboriculture* 18(4):188~191.
- Wagar, J. A. (1985) Reducing surface rooting of trees with control planters and wells. *Journal of Arboriculture* 11:165-171.
- Wagar, J. A. and P. A. Barker (1983) Tree root damage to sidewalks and curbs. *Journal of Arboriculture* 9:177-181.
- Wong, T. W., J. E. G. Good, and M. P. Denne (1988) Tree root damage to pavement and kerbs in the city of Manchester. *Arboricultural Journal* 12:17-34.

投稿日期 2009 年 2 月 2 日
修正日期 2009 年 2 月 27 日
接受日期 2009 年 3 月 5 日

附錄 1 各樹種不同胸徑對邊框之破壞等級

胸徑 (cm)	級數	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10~19	大葉桃花心木	3.66	18.29	29.27	34.15	9.75	2.44	2.44		
	榕樹				100.00					
	印度橡膠樹	33.33	16.67	11.11	33.33	5.56				
	樟樹			25.00	75.00					
	木棉	9.80	9.80	64.72	11.76	1.96	1.96			
	印度紫檀		60.00	35.00	5.00					
	裂葉蘋婆		50.00	37.50	12.50					
	黑板樹	19.36	12.90	22.58	19.36	12.90	12.90			
鐵刀木	17.31	5.77		21.15	7.69	46.16	1.92			
20~29	大葉桃花心木			4.08	30.61	30.61	22.46	12.24		
	榕樹	10.10	12.12	23.23	22.22	27.28	4.04	1.01		
	印度橡膠樹	14.78	8.70	15.65	22.61	19.13	8.70	10.43		
	菩提樹		5.41	8.11	8.11	16.21	56.75	5.41		
	樟樹	1.14	2.86	4.00	34.86	24.57	17.71	14.86		
	木棉	13.21	3.77	6.60	27.36	28.30	16.04	4.72		
	印度紫檀		8.42	24.21	48.42	12.63	4.21	2.11		
	裂葉蘋婆		3.97	9.93	22.53	15.23	21.85	26.49		
	黑板樹	3.37	1.12	13.48	14.61	25.85	20.22	21.35		
鐵刀木	1.49	10.45	2.99	2.99		26.87	55.21			
30~39	大葉桃花心木						25.00	75.00		
	榕樹				6.25	12.50	37.50	43.75		
	印度橡膠樹		2.22	17.78	13.33	15.56	8.89	42.22		
	菩提樹			5.13	7.69	7.69	28.21	51.28		
	樟樹				1.96	3.92	37.25	56.87		
	木棉						14.29	85.71		
	印度紫檀			1.89	3.77	2.83	31.13	60.38		
	裂葉蘋婆		3.97	9.93	22.52	15.23	21.86	26.49		
	黑板樹		2.11	2.11	1.05	14.74	31.58	48.41		
鐵刀木		0.90	3.60	12.61	7.21	5.41	70.27			
≥40	大葉桃花心木							100.00		
	榕樹				21.05			47.37	5.26	26.32
	印度橡膠樹				20.59	20.59	35.29	23.53		
	菩提樹				7.46	8.21	22.39	61.94		
	樟樹				3.85	3.85	19.22	73.08		
	印度紫檀				2.56	7.69	28.21	61.54		
	黑板樹					2.70	2.70	94.60		
	鐵刀木						25.00	75.00		

附錄 2 各樹種不同胸徑對鋪面之破壞等級

胸徑(cm)	級數	1	2	3	4	5	6
10~19	大葉桃花心木	64.63	10.98	2.44	14.63	6.10	1.22
	榕樹	100.00					
	印度橡膠樹	55.55	11.11	11.11	16.67		5.56
	樟樹	25.00	12.50	12.50	50.00		
	木棉	47.05	15.69	21.57	13.73	1.96	
	印度紫檀	5.00	80.00	10.00	5.00		
	裂葉蘋婆	0.00	93.75	6.25			
	黑板樹	51.61	25.81	9.68	6.45	6.45	
	鐵刀木	21.15	7.69	0.00	21.15	46.16	3.85
20~29	大葉桃花心木	8.16		4.08	26.53	38.78	22.45
	榕樹	21.22	19.19	2.02	20.20	32.32	5.05
	印度橡膠樹	25.22	14.78	5.22	24.34	22.61	7.83
	菩提樹				10.81	29.73	59.46
	樟樹	8.57	11.43	12.00	25.71	22.86	19.43
	木棉	18.87	6.60	6.60	28.31	33.96	5.66
	印度紫檀	3.16	20.00	23.16	17.89	32.63	3.16
	裂葉蘋婆	0.00	93.75	6.25			
	黑板樹	7.87	15.73	23.60	10.11	30.33	12.36
鐵刀木	4.48	8.96	2.99	5.97	13.43	64.17	
30~39	大葉桃花心木					8.33	91.67
	榕樹				6.25	31.25	62.50
	印度橡膠樹		4.44	13.33	17.78	24.45	40.00
	菩提樹			2.56	2.56	17.96	76.92
	樟樹	0.00	0.00	1.96	3.92	47.06	47.06
	木棉						100.00
	印度紫檀	0.00	0.00	0.94	0.94	17.93	80.19
	裂葉蘋婆	0.00	0.00	0.00	1.32	17.11	81.57
	黑板樹	1.05	1.05	9.47	6.32	27.37	54.74
鐵刀木		1.80	2.70	10.81	17.12	67.57	
≥40	大葉桃花心木					25.00	75.00
	榕樹					5.26	94.74
	印度橡膠樹				20.59	64.71	14.70
	菩提樹		0.75	4.48	5.22	10.45	79.10
	樟樹				3.85	26.92	69.23
	印度紫檀				12.82	10.26	76.92
	黑板樹				2.70	5.41	91.89
	鐵刀木				20.00	20.00	60.00

附錄 3 各樹種不同胸徑對緣石之破壞等級

胸徑 (cm)	級數	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10~19	大葉桃花心木	68.29	17.07	4.88	9.76					
	榕樹	100.00								
	印度橡膠樹	33.33	22.22	16.67	27.78					
	樟樹	37.50	12.50	12.50	37.50					
	木棉	41.18	37.26	9.80	9.80	1.96				
	印度紫檀	45.00	45.00	5.00	5.00					
	裂葉蘋婆		87.50		12.50					
	黑板樹	77.41	16.13	3.23	3.23					
	鐵刀木	61.53	17.31	9.62	11.54					
20~29	大葉桃花心木	6.12	14.29	12.24	40.82	22.45	4.08			
	榕樹	21.22	13.13	3.03	37.37	17.17	8.08			
	印度橡膠樹	8.70	11.30	2.61	38.26	12.17	17.39	5.22	2.61	1.74
	菩提樹	54.05	2.71	10.81	29.73		2.70			
	樟樹	12.57	5.14		48.01	13.14	7.43	5.71	4.00	4.00
	木棉	4.72	1.88	1.88	37.74	9.43	27.38	9.43	1.88	5.66
	印度紫檀	15.79	38.95	6.32	35.78	3.16				
	裂葉蘋婆	3.31	31.79	7.28	22.52	19.21	11.92	2.65	0.66	0.66
	黑板樹	58.43	26.97	1.12	12.36			1.12		
鐵刀木	14.93	28.36	13.43	38.80	4.48					
30~39	大葉桃花心木					25.00	41.67	8.33		25.00
	榕樹				25.00	6.25	12.50	25.00	18.75	12.50
	印度橡膠樹		2.22		26.67	11.11	17.78	26.67	4.44	11.11
	菩提樹	35.90		2.56	41.04	2.56	2.56	10.26	2.56	2.56
	樟樹				1.96	13.73	35.29	19.61	13.73	15.68
	木棉						28.57	28.57	14.29	28.57
	印度紫檀		1.89	0.94	19.81	28.3	18.87	14.15	2.83	13.21
	裂葉蘋婆			3.95	3.95	21.05	18.42	11.84	13.16	27.63
	黑板樹	10.53	24.21	8.42	43.16	6.32	1.05	1.05	1.05	4.21
鐵刀木		1.80	8.11	17.12	34.23	29.73	6.31	2.70		
≥40	大葉桃花心木						25.00			75.00
	榕樹				36.84		5.26	15.79	10.53	31.58
	印度橡膠樹				5.88	17.65	38.24	5.88	17.65	14.7
	菩提樹	1.49		2.24	29.11	9.70	11.19	15.67	13.43	17.17
	樟樹				3.85		11.54	11.54	19.23	53.84
	印度紫檀				10.26	12.82	15.38	7.69	25.64	28.21
	黑板樹		10.81	5.41	45.95	13.51	10.81	2.70	2.70	8.11
	鐵刀木						60.00	40.00		

The Relationship of DBH and Root Damage Level of Street Trees in Kaoshiung

Chin-Yu Chang

Associate Professor, Department of Landscape Architecture, Tunghai University

Hsiao-Chu Huang

Graduate student, Department of Landscape Architecture, Tunghai University.

Abstract

This study we investigated 10 species totally 2113 street trees in Kaoshiung city. We want to understand the relationship of DBH and root damage level of street trees. The root damage level of street trees including plant's pit, frame and paving in sidewalk. DBH represent the age of evergreen trees. We found all investigated street trees damaged the hardscape seriously. The level of root damage of all the investigated trees were positive correlation between DBH. There were significant differences in the proportions of trees of different species causing hardscape damage. In the future, we choose the street trees depending on the root type of the trees, avoiding the tree of buttressed root, adventitious roots, shallower root and trunk base expanded. It appears that slowly grown trees with deeper roots are good for the small plant's pit in the city. If it's possible, we should enlarge the plant's pit to eliminate the damage level of hardscape by street tree roots.

Keywords : street tree, sidewalk, DBH, root damage, hardscape