

桂竹林崩塌地根系型態與其後續崩塌之調查研究

林信輝⁽¹⁾ 賴俊帆⁽²⁾ 陳耀榮⁽³⁾

摘要

植物根系對邊坡具有防止崩塌之機能，主要來自根系本身的機械補強作用，及根與土壤之緊縛摩擦力。台灣地區桂竹林蓄積量為現存主要應用竹材種類中最多，目前因竹材利用價值低，大部分呈荒廢狀況。以往有關桂竹之研究多偏重桂竹生長與發育特性以及分布與利用之調查研究，對桂竹林根系型態與其對崩塌之影響未有深入之探討。本研究於台中縣泰安鄉、和平鄉及東勢鎮選取 12 個監測樣區，對桂竹林根系型態與崩塌後續動態之調查，自民國 93 年 11 月至 94 年 12 月監測期間，共調查 10 次，依崩塌 10 筆數量與降雨強度、雨量、密度、坡度，運用迴歸分析，結果 R^2 為 95.2%，表示有影響及可信。唯樣區數量及調查次數計 120 筆次中，僅 10 筆次有後續動態行為，總計崩塌量 219.5m^3 ，後續崩塌之比率低。另本研究調查桂竹地下根莖分布及抗拉強度以及桂竹根系型態等，並綜合探討桂竹林之崩塌特性，以供參考及進一步研究之依據。

(關鍵詞：桂竹林、崩塌地、後續崩塌、根系型態)

A Study on the Root System of Makino's Bamboo Forest and its Effect on the Subsequent Landslide

Shin-Hwei Lin⁽¹⁾, Chun-Fan Lai⁽²⁾

Professor⁽¹⁾ and Graduate Student⁽²⁾, Department of Soil and Water Conservation National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan 402

Yao-Jung Chen⁽³⁾

Secretary of Dongshih Forest District Office, Forestry Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan

ABSTRACT

The population of Makino's Bamboo is the most predominant among the several main species of Bamboo in Taiwan. This is resulted from the fact that the Makino's Bamboo was selected as one of the species in the forest plantation. However, the plantation area of Makino's Bamboo was almost deserted later on due to the low benefit in economical consideration. In the past, the relevant studies

(1) 國立中興大學水土保持學系教授

(2) 國立中興大學水土保持學系碩士班研究生

(3) 行政院農業委員會林務局東勢林管處秘書

Makino's Bamboo was concentrated on the surveys of growth characteristic, district distribution, and utilization. However, studies on the shallow root system and plate-type of landslides in the slope land with Makino's Bamboo growth is scarce. In this study, a total of 12 survey sites were set up on Makino's bamboo landslide area situated at Tai-An town, Ho-Ping town, and Dong-Shi town, Taichung county.

There were ten Makino's Bamboo landslide areas had been investigated, as related to factors such as rainfall, avalanche and slope from November 2004 to December 2005. According to regression analysis, it high positive correlation existed between avalanche, rainfall and slope with $R^2=0.952$. The biomass of Makino's Bamboo forest stand, the root system and the root strength were also discussed in this study for further studies and reference in future.

(Keywords : Makino's Bamboo forest, Landslide mechanism, Roots system)

一、前言

台灣森林集水區由於其區域性氣候與地質地形之特殊性，使得產生崩塌之機率甚高，故崩塌地治理一直是政府及民眾所關切的課題。惟由於不同植被地區崩塌發生規模之預測甚為困難，造成集水區整體規畫與治理工程設計不易落實。

台灣桂竹栽培面積達 39,542 公頃，其蓄積量在本省主要竹種中佔最多(1962, 林維治)，在台灣全省各地均有栽培，栽培面積逾 44,000 公頃，以中部及北部最多，且多為純林狀態分佈，南部則較少，分佈海拔為 10~1,550 公尺(林維治, 1976；戴廣耀等, 1973)。早期桂竹為國有造林及獎勵造林的指定樹種，近幾年來，桂竹林的經濟價值大不如前，大部分呈荒廢狀況。由於長期缺乏持續疏伐老齡竹桿，因此造成現存桂竹林呈現倒竹及枯死竹充斥之過密林分，桂竹林的生產力大為降低，是否因此而造成地下莖生長

停滯，連帶造成竹林防止地滑及崩塌等天然災害的能力降低等，有待深入研究(呂錦明, 2001)。

往昔國內外有關竹類之研究，較偏重桂竹之生長，與利用生育地評估之調查研究。而對竹林水土保持及國土保安之功能效益之研究雖有部分學者進行觀察研究，但未有做深入之探究。本研究之主要目的是藉由桂竹林地林分調查與桂竹林崩塌地崩落之監測分析，將二者不同領域予以結合，研究內容則以現場調查桂竹林之生物量、密度及監測崩塌樣區動態，並結合根莖調查試驗，對桂竹林之淺根性、含根土層及其板狀滑落崩塌等之情形深入探討。

二、研究方法

2.1 研究流程

本研究以苗栗縣泰安鄉象鼻村麻必浩及永安部落、臺中縣和平鄉自由村、達觀村及中坑村、東勢鎮中料里等為試驗地點，選取 10 個桂竹林崩塌樣區監測點，以崩塌 10 筆

數量與降雨強度、雨量、桂竹生長密度、坡度、土壤進行迴歸分析，並檢查殘差是否為隨機、常態分配及變異數一致，以建立可信之模式。並與其根系加以結合，探討桂竹林根系與其後續崩塌之關係。相關研究流程圖如圖 1。

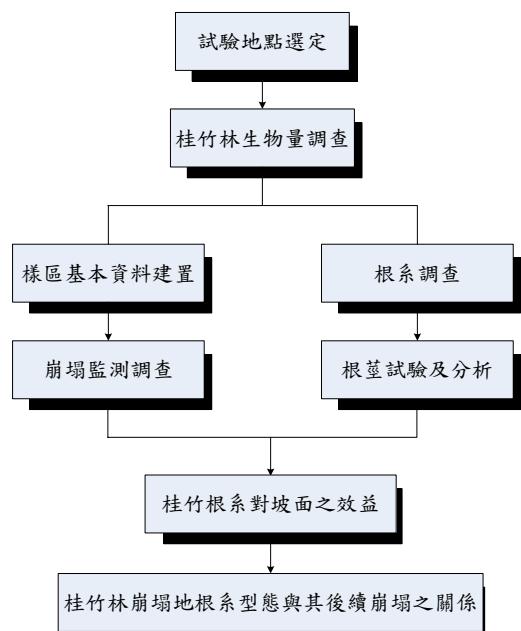


圖 1. 研究流程圖

Figure 1. Flow chart of the study

2.2 地質及土壤

本樣區之地形海拔高介於 500m 至 800m 之間，坡度 29° 至 50° 之間，為大安溪中游南側之山坡地。本區域之地質，麻必浩區(泰安鄉象鼻村)為大桶山層、乾溝層、水長流層，由砂頁岩母質風化之石質土。在土壤分類上為美國分類體系之砂質新成土(Psamment)或正常新成土(Orthents)；雪山坑區(和平鄉達觀村)之地質為大桶山層、乾溝層、水長流層，由砂頁岩母質風化之石質土，土壤分類上為石質型濕潤正常新成土(Lithic Uderthent)；由

砂頁岩母質風化形成之黃棕色黃壤，在土壤分類上屬典型低鹽基濕潤弱育土(Typic Dystrudept)；觀音坑區(和平鄉自由村、中坑村及東勢鎮中料里)之地質為沖積層、三峽群及其相當地層，由砂頁岩母質風化形成之黃棕色黃壤。質地以中細質地的粘質壤土至坋質粘壤土為主，土色呈較亮的黃棕色，在土壤分類上屬典型低鹽基濕潤弱育土(Typic Dystrudept)。

2.3 樣區基本資料

本調查於民國 93 年 9 月 28~29 日勘查中部山區桂竹林地崩塌受創嚴重現場情況，另於 10 月 3~4 日選定苗栗縣泰安鄉 3 處樣區、臺中縣和平鄉 6 處樣區、東勢鎮 1 處樣區，共計 10 處樣區，俾做為桂竹林地崩塌後續動態之監測調查點。既選定 10 處樣區監測點，為建立其基本資料，於民國 93 年 10 月 14~16 日完成崩塌林地測量及調查各樣區點之座標、海拔高、坡向、坡度、土質、崩塌厚度及崩塌水平面長度等基本資料（表 1）。

2.4 桂竹林林分調查

為調查桂竹林之生長現況，於崩塌地監測點周邊設立 11 處 $5 \times 5\text{m}^2$ 之林分生長調查調查樣區，進行每木之竹高(Ht)、胸高直徑(DBH)調查及齡級分布(由竹稈顏色辨識，以 1~3 年生做區分，3 年生以上歸為 3 年生，枯死木另計)，首先以頻度分析調查樣區林木之樹高與胸徑齡級之分布式樣，並依桂竹胸高直徑階選取 7 株標準樣木，分別量測各個桂竹單株之竹稈、枝條及葉之鮮重分布，並以標準木竹稈、枝葉及葉對胸徑平方乘以樹高所產生之直線迴歸式，計算單位面積樣區林分地上部之鮮重分布，而桂竹地下部生物量分布則以挖取 $2 \times 2\text{m}^2$ 面積，仔細挖除土壤且

不使地下莖受到破壞，在完成地下部分布式
 樣之描繪及拍照後，分別量測秤取地下莖與
 髮根之生物量鮮重。

表 1. 崩塌地樣區監測點基本資料

Table 1. The basic information of landslide at survey spot.

監測點 基本資料	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
地點	苗栗縣 泰安鄉 象鼻村	苗栗縣 泰安鄉 象鼻村	苗栗縣 泰安鄉 象鼻村	台中縣 和平鄉 達觀村	台中縣 和平鄉 達觀村	台中縣 和平鄉 達觀村	台中縣 和平鄉 自由村	台中縣 和平鄉 自由村	台中縣 東勢鎮 中料里	台中縣 和平鄉 中坑村
地別	保留地	保留地	大安溪 104 林班	保留地	大安溪 115 林班	大安溪 115 林班	保留地	八仙山 9 林班	國有財產 局國有地	八仙山 7 林班
座標(x,y)	245860 2694612	245888 2695163	244579 2694724	242498 2692156	241712 2692299	241687 2692299	238833 2686155	237448 2684543	235758 2684445	238752 2681815
海拔高 (m)	741	758	689	653	667	648	570	501	521	686
坡向	南向	東南向	西北向	東北向	東北向	東北向	西向	西向	東南向	西向
坡度	30°	29°	35°	39°	40°	50°	38°	34°	36°	34°
崩塌面(ha)	0.85	0.37	0.07	0.02	0.25	0.12	0.04	0.14	1.28	0.14
崩塌厚度(m)	15	8	3	8	5	3	3	2	2	1
土質	壤質砂土	壤質砂土	壤質砂土	壤質砂土	砂質壤土	壤質砂土	砂質壤土	砂質壤土	砂質壤土	砂質壤土
崩塌水平長度	85.23m	37.68m	26.03m	14.46m	47.92m	37.68m	22.85m	30.34m	97.41m	21.31m



圖 2. S1 調查樣區(如表 1 之說明)

Figure 2. Landslide survey spot.(S1)



圖 4. S3 調查樣區(如表 1 之說明)

Figure 4. Landslide survey spot.(S3)



圖 3. S2 調查樣區(如表 1 之說明)

Figure 3. Landslide survey spot.(S2)



圖 5. S4 調查樣區(如表 1 之說明)

Figure 5. Landslide survey spot.(S4)



圖 6. S5 調查樣區(如表 1 之說明)

Figure 6. Landslide survey spot.(S5)



圖 9. S8 調查樣區(如表 1 之說明)

Figure 9. Landslide survey spot.(S8)



圖 7. S6 調查樣區(如表 1 之說明)

Figure 7. Landslide survey spot.(S6)



圖 10. S9 調查樣區(如表 1 之說明)

Figure 10. Landslide survey spot.(S9)



圖 8. S7 調查樣區(如表 1 之說明)

Figure 8. Landslide survey spot.(S7)



圖 11. S10 調查樣區(如表 1 之說明)

Figure 11. Landslide survey spot.(S10)

表 2. 調查樣區之破壞模式
 Table 2. Failure models of survey spot.

調查樣區 破壞模式	舊有裂縫	豪雨型 崩塌	河岸侵蝕	崩積層 崩塌	地質破碎 風化嚴重	山坡地超 限開發	逕流集中 沖蝕	坡面 角度大
S1	✓	✓	✓					
S2		✓					✓	
S3				✓	✓			
S4			✓		✓	✓		
S5		✓		✓			✓	
S6			✓				✓	
S7		✓					✓	✓
S8		✓					✓	
S9	✓	✓		✓	✓			✓
S10							✓	

2.5 桂竹林根莖調查方法

本調查分別擇監測點 S1、S5、S9、S11 樣區，在不破壞地下部根莖之分布及組織結構，細心挖掘面積 1.2~2.5m²、深約 60 cm 土層，瞭解桂竹林地下根莖之生長分布及組織結構情形，另選定台中縣和平鄉達觀村大安溪事業區第 115 林班（監測點 S6 附近），樣區以 2mx2mx0.6m 範圍，細心挖除桂竹林地土壤且不使地下部根莖受到破壞，在完成竹株胸高直徑、齡級及地下部分布式樣之描繪及拍照後，即砍伐樣區竹株俾便各竹頭根莖直徑、走向之量測，並完成繪圖調查。

2.6 崩塌地監測調查方法

依地形及崩塌位置，採以正視水平面寬 20m，崩塌面緣縱深 10m 為一監測點設置範圍，其中崩塌面較寬之樣區 S2 設 S2-1、S2-2 兩監測點，樣區 S9 設 S9-1、S9-2 兩監測點，共計 12 監測點。椿點設置以崩塌正面平行間距各 2m，自崩塌面緣縱深並依桂竹林崩塌現場之地形不同各設置一椿點，在椿點與崩塌面緣，約在中間處設一補助椿點，將椿點、補助椿點與崩塌面緣點連成一直線，俾利後

續現場樣區動態調查作業，為避免影響調查崩塌之位置偏差，依序並取間距 2m 平行線另設一椿點，以此類推，重複進行，完成一監測點樣區範圍。現場崩塌記錄則以各監測點樣區範圍所設置之椿點為基準，經過補助椿點向崩塌面緣量測其長度，以記錄崩塌數量。

椿點以焊條及鋼筋長約 40 cm 設椿，打入土深 20~30 cm，補助椿點亦以焊條或現場桂竹噴漆設置，椿點與補助椿點設置完妥後，現場監測調查崩塌行為，原則在降雨量少或乾燥季期採每 2 個月 1 次現場調查，在颱風及豪雨季期，採不定期隨豪雨過後，即現場調查，俾利掌握最新現場崩塌資料。自民國 93 年 11 月 12 日起至民國 94 年 12 月 10 日計完成監測調查 10 次。

三、結果與討論

3.1 桂竹之型態與生育特性

桂竹為本省固有種，地下莖橫走側出散生，單桿散生型，主要分布於本省中部及北

部，據林維治(1962)之調查，本省桂竹栽培面積達 39,542 公頃，其蓄積量在本省主要竹種中最多。

桂竹地下莖橫走側出單稈散生，稈僅自地下莖之芽發生，稈基之芽亦僅萌發地下莖而形成散生狀，籜片長三角形；稈圓柱形；節上無刺；分枝通常 2 枚。

桂竹地下莖大部份實心。稈高達 10m，徑 3~10 cm，光滑，壁厚約 5 mm，節有二明顯環，上環起較高，表皮堅硬。籜密佈暗褐色斑塊，生有柔毛；籜耳不顯著；籜舌短小；籜葉披針形，先端略尖。葉 2~5 片成簇，披針形，基部楔形，長 6~15 cm，背有毛，邊緣具針狀鋸齒；葉耳顯著，叢生鬚毛，成熟時脫落；葉舌凸出，舌狀，膜質；葉鞘長 3~6 cm。主要以地下莖繁殖，稈不具形成層，在發筍後數個月之內，即完成竹稈的成長，之後不再繼續肥大生長，此種以地下莖貯存養分，供地上竹稈快速地完成生長之特徵，與一般林木的生育形式不同，較類似於草本植物。但竹類亦為多年生之灌木或喬木，稈多為直立且為木質化，其林冠部構成大型的植物，在生態上歸類為林木，因此竹類既不為草本植物，亦不為木本植物，而係界於草本及木本植物兩者中間之獨特性狀的植物。

就海拔而言，凡海拔 1,550m 以下之地區，皆可見桂竹之分布。其中 56% 分布於 500m 以下之地區、36% 分布於 500~1,000m 間、1,000m 以上之地區僅佔 8%(戴廣傳，1973)，桂竹係屬溫帶之竹類，高溫不利其生長。劉宜誠、任億安(1971)曾指出，桂竹林分平均竹高及與海拔呈極顯著之正相關，此即顯示海拔增高、氣溫降低，反而有利於桂竹之生長。

3.2 竹林地崩塌特性之探討

崩塌係指邊坡材料因受重力作用，發生向下滑動或崩塌之塊體運動現象。竹林地之崩塌大多屬於淺層崩塌，其特性如下：

- (1)因地震作用力導致竹林根系斷裂，於短時間內降下豪雨，降雨入滲形成飽和浸潤帶，使得基質吸力降低、土壤凝聚力折減，導致典型之淺層崩塌。
- (2)坡面受外力或地震力作用後，致使表土層產生裂縫，於未填補前遇上降雨量大時，因而引發竹林崩塌。
- (3)因長期缺乏管理之竹林，造成現存林呈現竹倒及枯死竹充斥之過密林分，使竹林生產力降低，因而造成地下莖生長停滯，迫使土壤剪應力增加或抗剪強度降低，造成竹林地發生地滑及崩塌。

3.3 桂竹林林分調查

根據 11 樣區 667 株桂竹林之現地調查結果(表 2)，本試驗將桂竹林以每 1cm 做為一胸徑階區分，可見 4~4.9cm 階層之桂竹分佈量最多，達 31.48%，其次為 5~5.9cm 階層，兩者合計達 6 成以上；若以 1m 竹高階區分，以 7~7.9m 竹高階之林木為最多，達 32.68%，其次為 6~6.9m 竹高階，而兩者合計達 5 成以上；以桂竹林齡級分布方面，以 3 年生以上林木佔 39.3%，其次為 2 年生林木 33.3%。

一般竹林之經營管理，需持續擇伐 3、4 年生以上之老竹竹稈，藉以促使竹林的年輕化，並提高竹林之生產力(高毓斌，1987)，本調查樣區由於最近幾年桂竹竹稈利用量降低而未實施擇伐作業，以致現存林分有 13.9% 的枯死率產生，而且林分密度雖以 3 年生以上齡級林木最多，但由於桂竹無年輪分布，

表 3. 桂竹林樣區林分現況
 Table 3. The field condition of Makino's Bamboo forest stand.

胸徑(cm)		竹高(m)		樹齡(年生)	
胸徑級(cm)	比例(%)	樹高級(m)	比例(%)	齡級(年生)	比例(%)
0~1.9	0.45	3~3.9	0.15	1	13.5
2~2.9	3	4~4.9	1.95	2	33.3
3~3.9	14.39	5~5.9	7.94	3	39.3
4~4.9	31.48	6~6.9	22.9	枯死	13.9
5~5.9	29.09	7~7.9	32.68	-	-
6~6.9	17.09	8~8.9	19.04	-	-
7~7.9	4.5	9~9.9	6.15	-	-
-	-	10~10.9	8.85	-	-

齡級調查係以竹稈顏化變化做回溯判斷為準，1年生竹稈表面呈現新綠狀，2年生竹稈顏色則較深，3年生竹稈則更深，4年生以上齡級區分極為不易，需具有長期之經驗方能準確判斷；由於桂竹竹稈生長到枯死期間，依經驗估計可達8年左右，雖本試驗3年生以上老齡林木為數不少，但本樣區桂竹1~2年生桂竹林木仍有46.8%分布，根據江濤(1971)調查本省桂竹林每公頃立竹之齡級組成，1、2年生林木合計占60%，而呂錦明、陳財輝(1992)在南投縣竹山鎮桶頭試區的1、2年生桂竹則僅16%，且立竹平均胸徑隨年齡增加而漸減。本試驗3年生以上老齡桂竹較多，為提高桂竹林的生產力，需實施擇伐老竹竹稈作業，提高竹林的生產力及防災機能。

根據11個樣區林木生長現況調查結果(表3)，本試驗所選桂竹樣區林分密度僅一樣區為8800株/公頃，其餘樣區林分密度皆極高，最高樣區林分達34800株/公頃，亦即在1m²範圍內約有3.5株桂竹存在，而全部林分平均林分密度為24255±7118株/公頃，林分

平均胸徑分布4.2±1.3cm~6.0±0.9cm，全林分平均胸徑為5.0±1.1cm，大致呈現樣區林分平均胸徑愈小，其胸徑之變異數較大，而林分胸徑愈大樣區則否，同時樣區林分平均竹高分布6.0±0.8m~8.9±1.3m，而全林分平均竹高則為7.2±1.4m，樣區間差異較大。

表 4. 調查樣區桂竹林木生長現況
 Table 4. The growth characteristics of Makino's Bamboo at investigation areas.

樣區	株數密度 (株/公頃)	平均胸高 直徑	平均竹高
		(cm)	(m)
S1	20400	4.6±1.2	6.6±1.4
S2	23200	5.4±1.2	7.5±1.2
S3	18400	4.6±0.9	6.0±0.8
S4	24400	5.0±0.9	6.8±0.9
S5	8800	4.2±1.3	6.8±1.5
S6	29200	4.8±1.2	7.2±1.5
S7	24400	4.9±0.8	7.6±1.1
S8	33200	5.0±1.2	7.7±1.6
S9	34800	4.5±0.7	7.0±0.9
S10	25600	5.3±1.2	6.7±0.8
S11	24400	6.0±0.9	8.9±1.3
合計			
平均	24255±7118	5.0±1.1	7.2±1.4

桂竹林的林分密度應維持在8000~12000株/公頃間(劉業經，1958)，或是桂竹林採連年擇伐法，每年伐採3~4年生之成熟竹稈，其擇伐量為3750~5400株/公頃，即留存相當數量之母竹，以維持林分密度在15000株/公頃左右(林文鎮、江濤，1963)，桂竹林不同經營目標之密度管理標準，次擇伐5年生以上竹林利用為主，本試驗調查林分大都為2~30000株/公頃之過密林分，需實施3年生以上老竹之擇伐作業，以維持桂竹林最佳之生產狀態。而桂竹林伐採時間之選擇，除發筍期、或是新生竹生長之3~7月間不宜外，其他時間皆可實施，惟以每年10月後翌年2

月間之乾燥時期最佳 (林維治, 1979)。

桂竹地上部生物量估算，係以樣竹各個器官(竹頭、竹桿、枝葉)鮮重對胸高直徑之相對生長式(表 4)，並以 SAS 程式計算各樣區林分各器官隻鮮重，並再換算為單位面積(公頃)重量(表 5)，而桂竹地下部之地下莖及鬚根之重量(以 S2 樣區為代表)，則以面積換算法，仔細挖取 $1 \times 1.3\text{m}^2$ 範圍之地下莖分布，詳細測繪地下莖之分布深度、長度等相關資料後，以破壞法剪取調查範圍內之地下莖及鬚根後秤取鮮重，並換算為單位面積重量(表 5)。

表 5. 調查樣木地上部生物量與胸徑平方乘樹高之直線迴歸式

Table 5. The linear regression of ground biomass and the value of $\text{DBH}^2 \times \text{H}$ at Makino's Bamboo investigation areas.

$y_{(\text{竹頭})} = 1.318 + 0.00389 \times \text{DBH}^2 \times \text{H}$	$R^2 = 0.823$
$y_{(\text{竹桿})} = 2.412 + 0.00963 \times \text{DBH}^2 \times \text{H}$	$R^2 = 0.986$
$y_{(\text{枝葉})} = 1.032 + 0.00186 \times \text{DBH}^2 \times \text{H}$	$R^2 = 0.951$

表 6. 調查樣區林木生物量鮮重(ton/ha)

Table 6. The wet weight of the forest biomass at investigation areas.

樣區	竹頭	桿	枝葉	地下莖	鬚根	小計
S1	39.37	80.03	27.01	281.54	10	427.92
S2	53	111.45	34.67	281.54	10	480.65
S3	35.74	72.821	24.49	281.54	10	414.58
S4	51.63	107.07	34.50	281.54	10	474.74
S5	15.64	31.23	11.02	281.54	10	339.42
S6	59.38	122.17	40.14	281.54	10	503.23
S7	50.72	104.80	34.07	281.54	10	471.13
S8	69.7	144.31	46.68	281.54	10	542.22
S9	66.01	133.83	45.56	281.54	10	526.94
S10	57.54	120.67	37.81	281.54	10	497.55
S11	61.93	132.56	39.43	281.54	10	515.45
平均	50.96	105.54	34.12	281.54	10	58.62

本試驗樣區地上部單位面積鮮重，竹頭平均為 $50.97 \pm 15.59\text{ton/ha}$ 竹桿平均為 $105.54 \pm 32.89\text{ton/ha}$ ，枝葉合計平均為 $34.13 \pm 10.22\text{ton/ha}$ ，而地下部之地下莖及鬚根鮮重則各為 281.54ton/ha 及 10ton/ha 。

以南投縣竹山鎮桶頭桂竹林之生物量為例，竹桿乾重為 19.75ton/ha ，枝葉乾重為 7.89ton/ha (呂錦明，陳財輝，1992)，本試區桂竹竹桿鮮重平均達 105ton/ha ，若以竹桿含水量 50% 計算，本試區竹桿生物量亦遠較桶頭桂竹林為佳，而且本試區地下莖合計鮮重達 281.5ton/ha ，亦遠較桶頭桂竹林地下莖乾重 83.76ton/ha 為高，顯示本試驗區桂竹林地下莖生長能力較佳。

3.4 桂竹根系型態調查

為深入探究桂竹林地下部之根系，於監測點 S5 附近選取樣區為 $2\text{m} \times 2\text{m} \times 0.6\text{m}$ 挖除地下部土壤並繪製根系平面分布圖，樣區內共計有 11 株桂竹，地下根莖數量計有 63 根段，根莖總長達 41.9m ，根莖走向平均分布於各方向，地下莖網狀交錯，形成強勁的防護網。

經現場調查根莖為趨圓形實心，直徑介於 $1.5 \sim 2.7\text{ cm}$ 間，90% 在 $2 \sim 2.5\text{ cm}$ ，地下根莖自地表土層向下深分布至 $30 \sim 40\text{ cm}$ 間，大部分位於 $10 \sim 20\text{ cm}$ 間。根莖節與節間介於 $3 \sim 5\text{ cm}$ ，根莖節周邊長出鬚根向外伸展，伸展長度可達 60 cm ，自地表向下深至 100 cm ，鬚根直徑為 $0.1 \sim 0.2\text{ cm}$ 間。分布示意圖之橫軸 2m 、每小格為 10 cm ，圖縱軸 2m 、每小格為 10 cm ，圓圈內點代表竹株位置，實黑線部份代表枯死根莖、其餘節線代表活力根莖，箭頭為根莖走向(圖 3)。

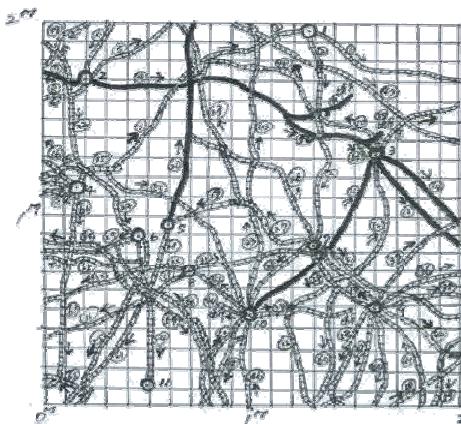


圖 12. 桂竹林地下莖平面分布示意圖

Figure 12. The distribution diagram of the root system of Makino's Bamboo rhizome.

3.4.1 桂竹根系抗拉強度試驗

現場取樣地下根莖 25 根段、長度約 60 cm，於實驗室進行抗拉強度試驗，本次試驗分一般組（活力根莖）20 根段、枯死組 5 根段，另剪力強度取一般組（活力根莖）5 根段。其試驗結果：一般組抗拉強度試驗破壞載重介於 221~1070kgf，平均值為 582.85kgf、抗拉強度介於 58~267kgf/cm²，平均值為 176.5kgf/cm²、枯死組抗拉強度試驗破壞載重介於 677~1116kgf，平均值為 874.8kgf、抗拉強度介於 149~298kgf/cm²，平均值為 264.8kgf/cm²。

3.4.2 桂竹根系對坡面之效益

桂竹根系隨地下莖向外擴充其基本型呈現共通性，桂竹上半部是非常堅韌竹桿，下半部為網狀的系統，其根徑範圍從 1.5~2.7cm 之間，生長範圍藉由地下莖向外擴充，地下莖上方接近表層形成網狀極細根網結表面，其與樹木比較，無具有深根極粗之主根、側根及水平根，但藉由生長快速、茂盛之根量於邊坡產生緻密之根系，較大根域之水平範

表 7. 桂竹根莖抗拉強度試驗結果

Table 7. The results of tensile strength testing.

編號	抗拉強度試驗		
	試樣平均直徑(cm)	破壞載重(kgf)	抗拉強度(kgf/cm ²)
1	2.3	1070	258
2	2.3	892	215
3	2.2	884	233
4	2.4	687	152
5	2.2	726	191
6	2.2	714	188
7	2.2	702	185
8	2.2	619	163
9	2.0	718	229
10	2.4	484	107
11	2.1	559	161
12	1.9	588	207
13	2.1	452	130
14	1.9	538	190
15	2.2	371	98
16	2.2	221	58
17	1.5	471	267
18	1.9	278	98
19	1.4	392	255
20	1.6	291	145
平均值	2.06	582.85	176.5
21(枯死)	2.2	1116	294
22(枯死)	2.3	806	194
23(枯死)	2.1	905	261
24(枯死)	2.0	870	277
25(枯死)	1.7	677	298
平均值	2.06	874.8	264.8

圍更可達 2~5m，其網結土壤固定於坡面上產生錨定及拱壁之作用。

桂竹因根系生長快速根徑雖小，但根系藉由表層覆蓋延遲雨水沖蝕作用，產生覆蓋層具有濕潤作用，增加根系穿入土層機會且根與根之間在破壞面形成非常密及網狀固結特性，固抵抗力因此較大。

經由調查發現，雖桂竹屬於淺根系植物，地下根莖自地表土層向下分布至 30~40 cm 間，但鬚根向下伸展長度可達 60~100cm，且鬚根量為一般植物之 1~3 倍，初步判斷桂

竹對於抗地表沖蝕能力應佳，而桂竹根系對於淺層坡面穩定之效果，則需進一步研究。

3.5 崩塌監測調查分析

樣區基本資料建置並設置基樁點後，即進行崩塌地監測調查，第一次(93.11.12)、第二次(94.1.17)與第三次(94.3.8)現場調查發現，12 個監測樣區並未發現有後續崩塌行為。前三次監測樣區之雨量，以象鼻、雙崎及東勢等 3 站資料，其中象鼻雨量站民國 94 年 2 月 24~25 日二日降雨量 230 mm，降雨強度 46mm/hr 為最大值。

第四次(94.5.24)現場調查，監測點 S2-2 崩塌量為 $3m^2$ ，監測點 S3 崩塌量為 $10m^2$ ，監測點 S6 崩塌量為 $0.5m^2$ ，上述 3 監測點距象鼻雨量站較近，以象鼻雨量站資料，雨量最大值為民國 94 年 5 月 12~13 日二日降雨量 261.5 mm，降雨強度 31.5mm/hr，監測點 S9-1 崩塌量為 $3m^2$ ，距東勢雨量站較近，以東勢雨量站資料，雨量最大值為民國 94 年 5 月 12~13 日 277.5 mm，降雨強度 59.5mm/hr，此次 4 監測點崩塌總數量 $16.5m^2$ ，其餘 8 監測點均無發現崩塌行為。

第五次(94.6.28)現場調查，僅監測點 S2-2 有崩塌量為 $50m^2$ ，此監測點距象鼻雨量站較近，經調查象鼻雨量站資料，雨量最大值為民國 94 年 6 月 23~24 日二日降雨量 153.5 mm，降雨強度 47.5mm/hr，其餘 11 監測點均無發現崩塌行為。

第六次(94.7.26)現場調查，其監測點 S2-1 崩塌量為 $15m^2$ ，監測點 S2-2 崩塌量 $8m^2$ ，距象鼻雨量站較近，以象鼻雨量站資料，雨量最大值為民國 94 年 7 月 18~19 日二日降雨量 470 mm，降雨強度 58mm/hr，此次 2 監測點崩

塌總數量 $23m^2$ ，其餘 10 監測點並無發現崩塌行為。

第七次(94.8.17)現場調查，在 12 個監測樣區中，其監測點 S3 崩塌量為 $15m^2$ ，監測點 S4 崩塌量為 $7m^2$ ，距象鼻雨量站較近，依象鼻雨量站資料，雨量最大值為民國 94 年 8 月 4~5 日二日降雨量 824 mm，降雨強度 81mm/hr，監測點 S8 崩塌量為 $108m^2$ ，距東勢雨量站較近，依東勢雨量站資料，雨量最大值為民國 94 年 8 月 4~5 日二日降雨量 371 mm，降雨強度 36.5mm/hr，此次 3 監測點崩塌總數量 $130m^2$ ，其餘 9 監測點並無發現崩塌行為。

第八次(94.9.7)現場調查，因 8 月 31 日至 9 月 1 日泰利颱風直撲臺灣本島，中部地區最大陣風達 9~11 級，唯該 3 雨量站之二日最大降雨量與降雨強度均未超過前幾次調查監測點發生崩塌之最小值 153.5 mm、31.5mm/hr，在 12 個監測樣區中並無發現崩塌行為。

第九次(94.10.5)現場調查，因 10 月 2 日龍王颱風直撲臺灣本島，中部地區最大陣風達 10 級，唯該 3 雨量站二日最大降雨量亦未超過 153.5 mm，降雨強度均未超過 31.5mm/hr，在樣區 12 監測點中亦無發現崩塌行為發生。

第十次(94.12.10)現場調查，在 12 個監測樣區中並未發現桂竹林地崩塌後續動態行為，依樣區該 3 雨量站資料二日最大降雨量均未超過 153.5mm，降雨強度均未超過 31.5mm/hr。綜上，自民國 93 年 11 月 12 日至民國 94 年 12 月 10 日監測期間，計調查 10 次，在樣區數量及調查次數計 120 筆次

中，監測桂竹林地崩塌後續動態行為，僅 10 筆次有後續崩塌行為，總計崩塌量 219.5m^2 ，比率偏低。

依監測樣區崩塌行為之二日降雨量最小值為 153.5mm ，降雨強度最小值為 31.5mm/hr 。

3.3.1 桂竹林崩塌後續崩塌之探討

監測調查得知，桂竹林發生後續崩塌之行為，主要因素如下：

- (1)因豪雨導致地區性之坡地破壞為主要因素，桂竹林地之崩塌災害亦不可避免。
- (2)經過民國 94 年 9 月泰利、10 月龍王二次颱風後，發現風力對於桂竹林地崩塌後續崩塌之影響並未顯現。由此初步分析，風力對桂竹林地崩塌後續動態破壞較不構成威脅。
- (3)調查中發現，樣區崩塌面上緣及側邊，有數條舊有裂縫痕跡，連接至樣區崩塌面緣邊，如樣區 S1 之裂縫寬度約 55 cm 、深度約 58 cm ，樣區 S9 之裂縫寬度約 60 cm 、深度約 50 cm 。由此可研判，其裂隙之發生是由於地震之作用力，使得桂竹林地下根莖被扯斷，致使表土層產生裂縫，在未填補前，又遇上超大豪雨，因而引發坡地崩塌行為。
- (4)於樣區環境調查中發現，有些樣區發生崩塌之主因是因邊坡鄰近野溪，且位於攻擊岸，坡腳因掏刷導致邊坡向源侵蝕，造成上邊坡不穩定，而誘發崩塌(如監測點 S6)；而有些樣區發生崩塌之主因為上下邊坡地質破碎，且邊坡上多為崩積土層、坡度大易因豪雨而引發再次崩塌(如監測點 S9)。

3.6 桂竹林後續崩塌因子分析

據桂竹林地崩塌現場建置 10 處樣區監測點之土質，依土壤三角直地圖分級屬於壤質砂土及砂質壤土，另監測調查 10 筆次後續發生崩塌點，其該土質部份計有 8 筆次為壤質砂土，2 筆次為砂質壤土，而壤質砂土在桂竹林地崩塌後續動態機率較高。並依現場調查得知，該兩分級之土壤性質，應最適宜桂竹林地之生長條件。其次桂竹林地崩塌樣區監測點之坡度介於 $29^\circ\sim 50^\circ$ ，依崩塌後續動態行為之監測，有發生崩塌量 10 筆次中，僅 1 筆次監測點(S9-1)崩塌面緣縱深平均坡度為 2° 較平緩，崩塌量僅 3m^2 ，比率偏低，其餘 9 筆次有發生崩塌量之崩塌面緣縱深平均坡度介於 $23^\circ\sim 50^\circ$ ，崩塌量 216.5m^2 ，由上述後續動態行為得知，坡度愈陡其後續崩塌機率愈高、愈大。另桂竹林地崩塌有後續發生動態行為之各樣區監測點密度 8700 株/ha 僅 1 筆次，其餘 9 筆次之密度介於 $12300\sim 31900\text{ 株/ha}$ ，因此，後續崩塌動態行為與桂竹林地高於正常生長密度皆有密切關係。為探討崩塌量各項因子之相關特性，自民國 93 年 11 月 12 日至民國 94 年 12 月 10 日在樣區 12 個監測點，所監測調查 10 次期間，計 120 筆次中，僅 10 筆次有後續崩塌行為，總計崩塌量 219.5m^2 ，擇該崩塌量與其它因子之相關性資料（表 4），利用統計軟體進行統計迴歸分析，將崩塌量訂為 Y 與降雨強度、雨量、土質、密度和坡度視為 X，進行迴歸分析，其中土質是區別變數(1：表示質砂土，2：砂質壤土。)

經過嘗試後，為原始資料之殘差分析並非為常態分配與迴歸基本假設不符，並為了配置較佳的迴歸線，因此將 Y 取 $\ln(e)$ 使其成

為常態，後進行迴歸分析，結果如下所示，其中 R^2 為 95.2%，表示此迴歸線能夠解釋 $\ln Y$ 95.2% 的變異。且經過分析後各變數的 P 值階小於 0.05，表示各變數皆為顯著，對於 $\ln Y$ 有影響。其迴歸式為：

$\ln Y = -3.79 + 0.0993 \text{ 降雨強度} - 0.0089 \text{ 雨量} + 2.079 \text{ 土質} - 0.345 \text{ 密度} + 0.281 \text{ 坡度}$ 。其中降雨強度、坡度對於崩塌量有正面影響。而雨量、密度則對於崩塌量有負面影響。經過殘差分析，殘差為隨機、常態分配與變異數一致，表示迴歸分析的結果可信。

表 8. 樣區因子調查

Table 8. The investigation of various factors at landslide areas.

監測點	崩塌量 (Y)(m ²)	LNY	降雨強度 (mm/hr)	二日降雨量 (mm)	土質	密度 (千株/ha)	坡度
S2-2	3(94.5.24)	1.09861	31.5	261.5 (94.5.12~13)	1	12.6	23°
S3	10(94.5.24)	2.30259	31.5	261.5 (94.5.12~13)	1	15.1	32°
S6	0.5(94.5.24)	-0.69315	31.5	261.5 (94.5.12~13)	1	20.4	25°
S9-1	3(94.5.24)	1.09861	59.5	277.5 (94.5.12~13)	2	8.7	2°
S2-2	50(94.7.26)	3.91202	47.5	153.5 (94.6.23~24)	1	12.6	23°
S2-1	15(94.7.26)	2.70805	58	470 (94.7.18~19)	1	12.3	23°
S2-2	8(94.7.26)	2.07944	58	470 (94.7.18~19)	1	12.6	23°
S3	15(94.8.17)	2.70805	81	824 (94.8.4~5)	1	15.1	32°
S4	7(94.8.17)	1.94591	81	824 (94.8.4~5)	1	31.9	50°
S8	108(94.8.17)	4.68213	36.5	371 (94.8.4~5)	2	20.3	38°

四、結論與建議

4.1 桂竹林等竹類需常擇伐 3 年生以上成熟竹桿，以維持竹林旺盛的生產力，依本研究樣區調查得知，3 年生以上老齡桂竹較多，佔 39.3%，且枯死桂竹也佔 13.9%，兩者比例超過 5 成，由於長期缺乏持續疏伐老齡竹桿，因此造成現存桂竹林呈現倒

竹及枯死竹充斥之過密林分，使得桂竹林的生產力大為降低，因而造成地下莖生長停滯，連帶造成竹林防止地滑及崩塌等天然災害的能力降低。

4.2 本調查依崩塌 10 筆數量與降雨強度、雨量、密度、坡度、土質等做迴歸分析，上述因子其結果具有影響。尤以降雨強度與坡度更為突顯其與崩塌之正相關性，當降雨強度超過 31.5 mm/hr，坡度介於

23° ~50° 時，即有後續崩塌之行為發生，唯樣區數量及調查次數計 120 筆次中，僅 10 筆次有後續崩塌行為，總計崩塌量 219.5m²，崩塌比率偏低。

- 4.3 桂竹林地發生後續崩塌之行為，依調查發現，主要是桂竹林地受外力、地震力作用致使地下部根莖受拉裂破壞，又遇超大豪雨，降雨急速貫注裂縫土層之際，致使桂竹林地土壤剪應力增加或抗剪強度降低，因而導致邊坡安定係數減低，造成崩塌，但由現地觀察所得，桂竹林屬全面性之地被覆蓋，在竹林下方沒有掏刷、挖方情形或有道路擋土牆之基礎與竹林根系無裸露情形時，桂竹林地之崩塌與破壞及土壤流失是不易發生的。
- 4.4 桂竹林根系屬單桿散生型，在裸露地之伸展與拓植能力強。根據樣區現場調查發現，桂竹林具有綿密發達的地下根莖，其莖盤根錯節，相互連結成緊密網狀，能夠在土地中編織成堅固的保護網，將土壤顆粒緊緊抓住。在短時間內形成大片的簇群，易栽植而且繁殖容易，生命力強韌，能夠在缺水陡坡間繁衍族群。且桂竹林上部之稈枝葉及其枯枝落葉層可以有效的阻止雨滴衝擊地面而致土壤流失之情形。
- 4.5 植物具有防止淺層崩塌之功能，本研究尚未能以有限之破壞試驗準確的推估桂竹根系對坡面之剪力強度與拉力強度以及評估桂竹根系對坡面穩定之效果。惟因植物植物根力補強之研究複雜且須花費大量人力、經費及時間，而國內對於各樹種之根力瞭解起步較晚，且植物於立地環境及估算根力補強之方式有所差異，因此

諸多根力問題仍有甚多尚須進一步研究與探討。

參考文獻

1. 江濤(1971)，「台灣之竹類資源及其經營」，中華林業季刊，4(4):77-107。
2. 呂錦明(2001)，「竹林之培育及經營管理」，行政院農業委員會林業試驗所林業研究叢刊第 135 號。
3. 呂錦明、陳財輝(1992)，「桂竹之林分構造及生物量-桶頭一桂竹林分之例」，林業試驗所研究報告季刊，7(1)。
4. 林文鎮、江濤(1963)，「竹類經營」，台灣省政府農林廳編印。
5. 林文鎮、江濤(1963)，「經濟木竹之栽培」，中國農林復興委員會印行。
6. 林維治(1976)，「台灣竹亞科植物之分類」，台灣省林業試驗所試驗報告第 271 號。
7. 林維治、康佐榮、黃松根、江濤(1962)，「台灣主要竹林資源調查之資料」，林業試驗所農復會合作報告第四號。
8. 林納生、陳脈紀、江濤、林維治(1979)「台灣竹類嵌紋病毒之初步研究」台灣省林試所試驗報告，137：1-10。
9. 高毓斌(1987)，「桂竹之生長與培育」，現代育林，2(2):54-64。
10. 陳燿榮(2006)，「桂竹林崩塌機制動態之調查研究」，中興大學水土保持學系碩士論文。
11. 劉宜誠、任憶安(1971)，「台灣主要竹林生育地與生長之研究(一) 桂竹」，中華林學季刊，5(1):18-28。

林信輝、賴俊帆、陳燦榮：桂竹林崩塌地根系型態與其後續崩塌之調查研究

12. 劉業經(1958)，「造林學各論」，中興大學出版。
13. 戴廣耀、楊寶霖、沈榮江(1973)，「台灣之竹林資源」，農復會、林務局、航測隊、屏東農專合作計劃。
-

96 年 2 月 2 日 收稿

96 年 2 月 23 日 修改

96 年 3 月 5 日 接受