

# 多孔性护岸工程之植物根力研究

张俊斌

(台湾中州技术学院, 台湾 彰化)

**摘 要:** 在多孔性砌石护岸中, 对其植生根系发育之不同及根系力学特性之差异进行试验研究与评估, 探讨其根系实质上的力学贡献与植物群落之变迁, 以作为生态工程之护岸植生植物材料之选取与配置以及评估生态效益之依据。为了解及探讨其植生根力特性与机制, 而对优势植物进行植株引拔抗力与其生长特性及立地环境等相关影响因素之统计回归分析, 建立破坏及非破坏性根力推估模式, 并期望了解植物根系特性及固土能力。因此, 选取砌石护岸之整治工程中, 优势木本植物水麻及山黄麻为试验植物, 由植株引拔抗力等试验, 进行植物引拔抗力与地际直径-基径、基径上 10 cm、树高、树冠幅宽、地上部重、地下部重、地上部干重、地下部干重、土壤含水量、坡度、土壤硬度等相关影响因素之统计逐步回归(stepwise regression)分析与主要机制探讨, 建立推估模式。

**关键词:** 多孔性护岸; 非破坏模式; 引拔抗力

中图分类号: S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)03-0144-03

## Study on the Root Strength of Plants for Porous Revetment Engineering

ZHANG Jun-bin

(Chung-Chou University of Technology, Zhonghua, Taiwan, China)

**Abstract:** The root distribution type of dominant plant will be compared grows in soil and in stone revetment. The mechanical characteristics of root will be evaluated which will be an index of selecting the plant material plant on eco-technology (porous revetment). According to the testing results, the statistical regression analysis was performed to formulate the relationships of pullout resistance of root system, the growth characteristics of plant and the field site environment and eventually to set up pullout resistance models for this particular plant. So this study selects these three plants as the root sample for pullout test and discusses its characteristics and mechanism of root strength. It is expected that the developed pullout resistance model will reflect dominant plants characteristics and soil steady of root system. This study chooses three of the most important dominant plants in the river and small stream area of Middle-Taiwan. In order to obtain root-strength model from pulling resistance and other tests that analyze the tests' datum by statistical stepwise regression. The growth characteristics of dominant plants are consisted of the plant length or height, the diameter near ground, the diameter above ground 10 cm, the tree crown width, the plant weight of upper part above ground, the plant dry weight of upper part above ground, lower part weight under ground and the dry weight. On the other hands, the field site environment refers the moisture water content of soil, gradient and hardness of soil.

**Key words:** porous revetment; non-destruction models; pulling resistance

### 1 前言与目的

台湾早期河溪整治工程较偏重于利水导水之排洪设施, 而较少整体环境生态的考量。近年来生态保育意识抬头, 河溪整治亦多考虑当地生态环境之维护与复育, 在野溪治理方面, 已趋向于生态环境考量及护岸绿化, 开始大量地使用多孔性砌石护岸, 一方面考虑人类生命财产的安全, 另一方面兼顾当地自然生态系之维护, 期望尽量避免破坏当地的生态与自然景观, 使动植物在人为的生活空间与生育基盘上自然生长及演替。本土性生态工法的专业知识与工程技术极为欠缺, 尤其是含植生根力之力学分析。因此, 植物材料之选择与植栽技术之应用亦需配合多孔性砌石工法之开发, 而建立一套可供设计参考与评估之依据。由于台湾地区有关根系力学方面的研究甚少<sup>[1-6]</sup>, 而做为多孔性(砌石)护岸设计植生植物之根系分布、力学特性等之研究更付阙如。部分国外之数据则是基于植物种类与野溪条件不同, 而无法直接引

用, 尚须建立本土护岸优势原生植物之根力特性资料, 以作为砌石护岸导入植物之参考依据<sup>[7-9]</sup>。因此本研究针对先前已自行建立完成之国内野溪护岸类型, 实地考察之地点环境特性等数据, 选择较具生态性功能之野溪多孔性护岸植生工法(砌石、堆石、块石...), 研究其适用植物之种类、分布特性(地域考量)、生长活力(植栽存活力)、根系分布类型与其对护岸边坡所提供之根力, 并拟与其它一般土质、混凝土等护岸, 作比较分析<sup>[10,11]</sup>, 并评价其对生态环境之贡献。

### 2 研究方法

#### 2.1 植生调查与分析

本调查试验以穿越线法(Line transects)为取样方式, 于选定之砌石护岸, 取一条平行于溪流, 长 50 m 之穿越线, 沿穿越线进行植生种类与覆盖度、重要值之调查。植生定量分析则是将植生定量调查结果之参数加以组合, 计算重要值指数(Important value index, IVI), 以下列不同解析方法计算群落

\* 收稿日期: 2006-10-02 修正日期: 2006-11-05 接受日期: 2006-11-26

基金项目: 台湾科学委员会基金项目(NSC95-2313-B-235-002)

作者简介: 张俊斌(1968-), 男, 博士, 中州技术学院研发长, 主要研究方向: 植物生理物理、景观生态、水土资源保育、自然生态工法。

指数,藉以探讨植物社会之特性<sup>[12]</sup>。本研究以植生调查重要值指数计算所有调查植物及样区两两之间的相似性指数,作成一相似性指数矩阵(matrix of index of similarity value),经相似性指数计算后,可得知各样区间植生组成之关联性,再以此群团分析(cluster analysis)所得之结果绘制成树形图(dendrogram),以探讨各样区植生之关系和植生的分类及组成。

## 2.2 根系特性调查与拔根力模式建立

本研究以拔根引拔抗力作用评价法来探讨根系对砌石护岸的补强作用。选取护岸优势植物后,量测试验植株及其生长环境之相关基本数据,包括地际直径-基径(D)、基径上10 cm(D<sub>10</sub>)、树高(h)、树冠幅宽(Wt)、地上部重(W<sub>u</sub>)、地下部重(W<sub>r</sub>)、地上部干重(W<sub>ud</sub>)、地下部干重(W<sub>rd</sub>)、土壤含水量(Sw)、坡度(g)、土壤硬度(H)等;待根力拉拔试验完成后,再将根系生长处之土样以及植株携回实验室进行分析,以求取土壤含水量与植株地上部、地下部之干重。所得数据将进行统计分析,以推估引拔根力与各项变量之关系模式<sup>[3-6]</sup>。植株引拔抗力试验则采用手持之日制背筋力计配合Loadmeter软件测定人力可拉起2 352 N之植株与高3 m之活动三角架搭配动滑轮、荷重器及SMD测定仪器,可测定至20 000 N之植株引拔抗力,各植株之引拔抗力皆可由上述之软件在拉拔中呈现其历程并记录储存其数值。拔根方向与(护岸)坡面成垂直,平均拔根速度为10 cm/min,平稳缓慢的拉拔起植株,并记录其最大引拔抗力数值。拔根后分别量测试验植株之地上部、地下部重量,拔根后记录数值并挖取断于土壤根系,清洗地下部,并分别装袋,携回实验室85℃烘干48 h,烘干后分别称重,以换算试验植株之含水重量百分比。

根力模式之建立,乃以所试验植株之所有变因以逐步回归(stepwise regression)配合参考C<sub>p</sub>统计量作分析,各变量间亦利用相关系数矩阵得知各变量之相关性,并建立相关模式,推估野溪砌石护岸植株根力之相关数据,并以破坏性及非破坏性分别作模式探讨<sup>[2, 8-13]</sup>。各参数多重重合性检查探讨后,利用统计检定工作及专业判断,删除重合参数,再利用残差分析检讨所建立之初步模式比较试验数据之优劣,作为修正模式之参考。而不同地点间因环境等立地条件不同,根力是否有显著差异,相同模式间(各参数相同)以统计技术之F检定判别差异显著性。

## 3 结果与讨论

### 3.1 植生调查与分析

台湾南投县鹿谷乡溪头地区整治工程之砌石护岸(2002~2004年陆续完工),经由植物重要值指数(IVI)之计算结果,木本植物以水麻为最优势物种,扬波次之,此外,山黄麻及山水柳亦有较高之覆盖率。另一研究试验地点为台湾南投县竹山镇清水溪集水区之支流加走寮溪,研究区域为瑞兴桥上游300 m瑞兴堤防旁为样区,采用线截法调查实施植生调查,经分析后以植物之丰多度(Abundance)为判断,主要优势植物包括甜根子草、牛筋草、鸭跖草、大花咸丰草、小花蔓泽兰及野塘蒿等。

河川植生调查之结果,加走寮溪代表性植物多为干扰性植群或一年生草本植物,以禾本科及菊科植物为大多数,其中菊科植物以外来入侵种大花咸丰草及小花蔓泽兰为优势植物,原生种则以野塘蒿为优势植物,优势植物之判断则以植物之丰富度为依据;禾本科之原生优势植物,则以甜根子草、牛筋草及狗牙根居多;而河川区域中,可发现扰动及破坏较少之区域或地势较高河水不易淹没之地点已有木本植物入侵,如山黄麻、木芒麻、蓖麻、血桐、构树及波叶山蚂蝗等,山黄麻及木芒麻为原生优势植物,而其它树种之数量亦有增加之趋势。在河川区域调查中发现,有部分之植物能生长于干砌石堤岸上,其中包括甜根子草、野塘蒿、加拿大蓬、田菁、山黄麻及木芒麻等,可见该些植物对环境之适应力及自然入侵能力较强。

河川中之高滩地或浮覆地,则受到水流冲刷、台风侵袭或水位变迁之影响,而时常受到扰动或消失,植物则难以生长于其上,以致于河川大部分之高滩地或浮覆地无植物之存在。豪雨或台风产生大量泥沙淤积河床,则容易造成植物掩埋、倒伏或连根拔起,以致于植物不易生长于河川高滩地。受到洪水或土石流冲击之植物,容易被连根拔起,堆积于桥墩或河川构造物上,造成河道淤塞。

经野外河溪护岸实地调查研究发现,甜根子草(*Saccharum spontaneum* L.)为在河川区域自然入侵之本土优势草种,其具有耐水湿、耐干旱及抗风力能力强之优点,常群集于河床及沙质土壤处,形成大群落,且在大水过后常能发现甜根子草未被连根拔起,而呈现倒伏之状态继续生长;山黄麻(*Trema orientalis* Bl.)为阳性先驱树种,多生长于道路边坡、伐采迹地、崩塌地、溪畔冲积地,为台湾中低海拔次生林的重要组成部分,对崩塌裸露地复旧效果迅速。水麻(*Dregea edulis* Wedd.)为常绿灌木,适生于河溪或潮湿之向阳地。本研究以生态生法未采用过之原生种,自然入侵能力强,且具有较长之叶片长度,茎部具有柔韧性之本土植物甜根子草及优势植物山黄麻及水麻为试验材料。

### 3.2 根系特性调查

经野溪护岸整治理工法优势植物试验结果,山黄麻地上部植株含水百分比最小值为63.16%,最大值为79.09%,平均值为72.62±1.16%;地下部根系含水百分比最小值为60.0%,最大值为88.33%,平均值为76.02±1.81%。水麻地上部植株含水百分比最小值为72.14%,最大值为89.36%,平均值为79.29±1.21%;地下部根系含水百分比最小值为68.75%,最大值为86.25%,平均值为74.42±1.0%。由此可知山黄麻地上部植体之含水量低于水麻,而地下部根系含水量则略高于水麻,然而山黄麻试验植株根系含水百分比之变化则略高于水麻。因试验植株尚不多,嗣后增加试验株数达统计量时,对于植株含水量与根力之关系再做进一步的探讨。

多孔性植物之山黄麻之试验植株高范围为45~92 cm之间,水麻则为87~195 cm,高于山黄麻。因此,水麻在植株引拔根力之平均值58.01±35.69 kgf远高于山黄麻的17.16±4.01 kgf;地际直径(基径)亦是相同的结果(12.0±5.01 mm>6.69±0.5 mm)。但若以相同的植株大小来比较基径或引拔根力,本研究尚未有更明确的结论,仍需进一步研究与探讨。

另外利用试验植株之室内外试验及简单之统计结果,山黄麻地上部湿(干)重及地下部干重可经破坏性之试验研究推导出非破坏性之量测估算,由逐步回归分析模式分别为W<sub>u</sub>=1.313 W<sub>t</sub>(R<sup>2</sup>=0.781\*\*);W<sub>ud</sub>=0.337 W<sub>t</sub>(R<sup>2</sup>=0.819\*\*\*);W<sub>rd</sub>=0.239D(R<sup>2</sup>=0.841\*\*\*)。水麻之地上部及地下部干重模式分别为W<sub>u</sub>=0.659 W<sub>t</sub>(R<sup>2</sup>=0.862\*\*\*)及W<sub>rd</sub>=0.789D(R<sup>2</sup>=0.943\*\*\*,\*\*\*表达0.1%之显著水准)或W<sub>rd</sub>=1.095D-0.0335h(R<sup>2</sup>=0.968\*\*\*)。其中各模式间因变量之适用范围见表1中各变量之最小值及最大值。另于加走寮溪甜根子草试验植株中,地上部植株含水百分比值介于93.75%~37.70%,平均为63.42%;地下部之含水百分比则介于93.90%~21.30%间,平均为45.44%,显示地上部植株之含水量高于地下部根系。地上部重模式为W<sub>u</sub>=D12.618(R<sup>2</sup>=0.992\*\*\*)。

### 3.3 植株引拔根力模式建立

根力模式之建立,乃以所试验植株之所有变因以逐步回归(stepwise regression)配合参考C<sub>p</sub>统计量作分析,各变量间亦利用相关系数矩阵得知各变量之相关性,并建立相关模式,推估野溪砌石护岸植株根力之相关数据,并以破坏性及非破坏性分别作模式探讨。各参数多重重合性检查探讨后,利用统计检定工作及专业判断,删除重合参数,再利用残差

分析检讨所建立之初步模式比较试验数据之优劣,作为修正模式之参考。而不同地点间因环境等立地条件不同,根力是否有显著差异,相同模式间(各参数相同)以统计技术之 F 检定判别差异显著性。

所得结果如下:

1. 山黄麻: 模式为  $Pr = 0.469W_u (R^2 = 0.912^{***})$  或  $Pr = 1.879Wud (R^2 = 0.92^{***})$ ;

2. 水麻:  $Pr = 4.864D (R^2 = 0.87^{***})$

3. 甜根子草:  $Pr = 0.168h + 0.142D (R^2 = 0.852^{***})$

为使根力模式能达到非破坏性目标,选取可直接量测之株高及地径直径(基径)做为推估引拔抗力之参数,经回归结果 1. 山黄麻: 非破坏模式为  $Pr = 2.882D (R^2 = 0.771^{**})$  或  $Pr = 14.393D - 13.354D10 (R^2 = 0.839^{**})$ ; 其而水麻与甜根子草之根力非破坏模式则与前段相同; 甜根子草之引拔抗力与草长(h, cm)及地径直径(D, mm)成正相关,草长之量测范围在 78.0 cm 至 143.62 cm 之间,地径直径之范围 16.6 mm 至 203.7 mm 之间。

比较山黄麻破坏与非破坏模式结果,后者模式并不若前者模式良好,但较具实用价值。其中引拔抗力与基径成正相关,其结果与多位学者所作调查崩塌地五年生内台湾赤杨之结果相近<sup>[4][6]</sup>,对泥岩地区适生植物所做之根力研究则为引拔抗力与地径直径成指数正相关<sup>[3]</sup>,显示不同植物与不同环境(生态工法砌石护岸)之根力模式将有所差异,而建立不同植物与不同环境的植生根力统一模式,将是未来之研究方向。

#### 4 生态工法护岸之植株根力历程

植物之引拔抗力历程乃选取干砌石护岸工程之生态工法河岸与河床高滩地优势之优势木本植物水麻及山黄麻与草本之甜根子草等植物,以引拔抗力作为河岸植物抗水流侵蚀之指标,而由各植物之引拔抗力历程变化显现各植物间之差异(如图 1 所示),亦可进一步分析作为生态工法护岸适用植物之重要参考依据<sup>[12]</sup>。而引拔抗力过程皆呈现渐增最大拉力下降之情形,且以山黄麻达到最大拉力时,所需时间最久。若引拔抗力之下降速率最大,显示其残存应力最小,一旦遭受水流冲击破坏根系易断。结果显示出各种生态工法护岸植物在固土能力与固土方式之差异。因此,期能藉此种资料之研究,于日后更进一步探讨其根系生长与根系受力时之差异性。

#### 5 结论与建议

生态工程之多孔性砌石护岸含石率大且高,其自然植生不易,植株引拔试验亦不易。植物之根系通常在砌块石间隙

生长,但植物地上部生长状况无法直接获知其根系分布,因此由地质土壤条件及植物地上部等相关资料,以推测根系分布及根力模式有详加讨论必要。

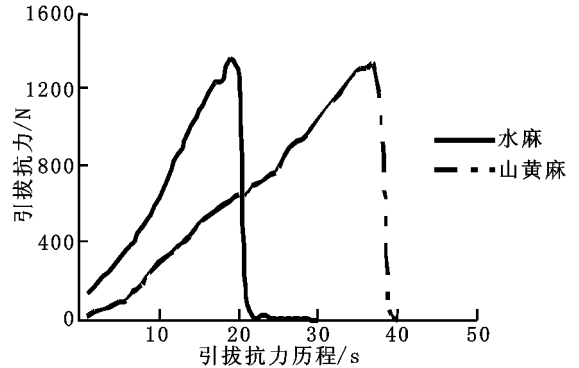


图 1 植株之引拔抗力历程图

植物有防止浅层崩塌之功能,但大部分仅作定性之描述,本研究希能以有限之破坏试验达到非破坏准确推估之目标,即以根力模式希可推导引拔抗力与植物地径直径之模式,藉由量测某一植物之地径直径、株高、树冠幅或其组合等,即可推估该植物之根剪力强度。但因砌石护岸生态工法之优势木本植物(水麻及山黄麻)不易找寻及数量不够多,本年度试验针对山黄麻及水麻各 25 株、甜根子草 50 株作引拔抗力之试验,以统计回归分析而言,前二者试验样本组数尚有不足之处,日后宜再增加试验植株之数量,以修正或验证此根力模式。木本植物之主根通常可深入土壤 1 m 以上,增加临界圆之半径,发挥桩之效果;雨季土壤水分较多,根系除可增加入渗量外,植物之蒸散作用亦可调节,以增加土壤之抗剪强度及摩擦系数而减低坡面之滑落,惟于砌块石护岸之安全性计算时,可能未考量植株入侵后之情况,藉由引拔根力可推估优势植物之根力表现,但是否会造成整个生态工程有多大影响,将需再进一步的研究。

因根系无法深入土层较深处,或于石缝中生长,致使植物根系生长情况较一般土壤生长之植株有所差异,有时根深入较长且多曲折。而在引拔根力试验中,因在石缝中生长情况下,使引拔过程中即造成根系拉断或树茎脱皮现象,无法获知根系或根力之真实状态,而常造成试验失败的窘况,对此情形有需进一步探讨适宜夹具之开发。此研究仅对野溪砌石生态工程之优势植物之根力模式作初步探讨,嗣后针对同种植物再应用于其它治理工法或特殊地区如泥岩地区、崩塌地之根力模式再作比较,以简化优势植物间及不同地区之引拔抗力模式。

参考文献:

- [1] 林信辉,高齐治. 西南部泥岩地区刺竹根力特性之研究[J]. 中华水土保持学报, 1999, 30(1): 1-12.
- [2] 林信辉,陈意昌,施证育. 石灰石矿区优势植物根力模式探讨[C]. 第十三届水利工程研讨会, 2002. 69-76.
- [3] 林信辉,陈意昌,张俊斌,等. 美洲阔苞菊根株引拔抗力推定模式之研究[J]. 农林学报, 2004, 53(4): 293-306.
- [4] 陈意昌,张俊斌,林信辉. 崩塌地先趋植物根力模式分析[C]. 第三届海峡两岸山地灾害与环境保育研讨会论文集, 2002. 413-419.
- [5] 杨敬戎,林信辉,陈意昌. 甜根子草引拔抗力模式之评估[J]. “水土保持学报”, 2005, 37(2): 139-154.
- [6] 林信辉,杨宏达,陈意昌. 九芎植生木桩之生长与根系力学之研究[J]. 中华水土保持学报, 2005, 36(2): 123-132.
- [7] Mueller-Dombois, D, H Ellenbergh. Aims and Methods of Vegetation Ecology[M]. New York: John Wiley & Sons, 1974. 547.
- [8] Chang, C P, Chen Y C, Lin, S H, et al. Development of Nondestructive Root Strength Models for Pioneer Plants of Earthquake Landslides Areas in Taiwan[J]. Agricultural Engineering Journal 2005, 14(3): 109-115.
- [9] 阿部和時. 根系の引き抜抵力による 〇 斷補強度の推定[J]. 日本緑化工學會誌, 1991, 16(4): 37-45.
- [10] 张俊斌,陈意昌,林信辉. 红外线温度计在泥岩地区叶温量测上之应用[J]. 中华水土保持学报, 2001, 31(4): 317-326.
- [11] 张俊斌,陈意昌,林信辉,等. 台湾中低海拔乡土植物在逆境下之生长活力研究[J]. 水土保持研究, 2001, 9(3): 136-145.
- [12] 张俊斌,陈意昌,李介茹. 河岸植生景观、生态特性与防冲固土分析[J]. 海峡两岸山地灾害与环境保育研究, 2006, 5: 707-715.
- [13] 林信辉,张俊斌,李明儒,等. 泥岩地区冬青菊与苦蓝盘非破坏性生长量评估模式[J]. 中华水土保持学报, 2001, 32(3): 193-203.