農業工程學報　第 47 卷第 1 期
中華民國 90 年 3 月出版

Journal of Chinese Agricultural Engineering
Vol. 47, No. 1, March 2001

專　論

山坡地水稻梯田之水土保育功能初探

The Preliminary Study on the Soil and Water Conservation Function of Rice-Terrace on Slopeland

台北市七星農田水利研究發展基金會研究員
陳 世 楷
S. K. Chen

台灣大學農業工程研究所博士班研究生
黃 漢 誠
H. C. Huang

台灣大學農業工程研究所碩士班研究生
鄭 世 尉
S. W. Cheng

台灣大學農業工程學系教授
劉 振 宇
C. W. Liu

摘　要

水稻梯田除生產功能外，亦具有極佳之水土保育功能，如水源涵養、土壤保全、蓄水調洪及崩塌防止等各種公益功能。本文除闡明水稻梯田之築造及其水理分析外，並於新竹新埔地區之水稻梯田進行環境及土壤水分量測，藉以明瞭其滲流機制，及水土保持之功能。結果顯示經過一週暴雨之後，邊坡土壤水分仍呈非飽和狀態，顯示上部田區滲漏之水流並未到達下部田區以提供（暗）迴歸水之利用，但維護良好之邊坡且耕作中之水稻梯田卻提供了極佳之崩塌防治功能，本研究所得之水稻梯田特性資料若能配合驗證數學模式將能進一步瞭解水稻梯田滲流機制並提供作爲相關單位進行水稻梯田保育工作之參考。

關鍵詞：水稻梯田，滲流，保育。

ABSTRACT

Rice-terrace on slopeland exhibits many soil and water conservation functions such as water/soil preservation, flood/slope failure control, as well as rice production. The purposes of the study are the introduction of the typical layouts, in-situ measurements and the flow field analysis of rice-terrace. Field experiments are conducted in Hsuing-Pu, Hsuing-Chu. The experiments include the in-situ investigation of environment and the measurement of soil water content, which can help to assess the soil and water

conservation functions of rice-terrace. The experimental results show that the seepage flow is under unsaturated condition within the bund even after one week's heavy rainfall. It reveals that the amount of invisible return flow is not large enough to move through the bund from upper field to lower field. However, the rice-terrace under well-maintained and cultivated conditions is helpful to soil and water conservation on slopeland. The data obtained from this study can be used to the numerical simulation which will help us to understand the detailed seepage processes of rice-terrace and can provide governmental agencies as a scientific basis to promulgate policies concerning the rice-terrace conservation.

Keywords: Rice-terrace, Seepage, Conservation.

一、前　言

梯田由於其水文、地文等先天條件的限制，耕作維護費時費工致經營成本較高，但與環境具有極佳之相容性。等高修築、田面平坦與周邊圍築之田埂邊坡，賦予了水田在環境保全上的種種特色。亦即，治水、土壤保全、水源涵養、水質淨化、水生態系維持、景觀維持等各種公益功能。

台灣地區在經濟高度發展之後，受農村人口老化以致勞動力不足等後天條件影響，使水稻梯田有轉作、休耕甚至廢耕的傾向，以台北市爲例，民國 47 年台北市山坡地共有水田（梯田）約 2420ha，因市區發展其位於市區邊緣之水田已有 1100ha 變更爲建地 (吳正雄，1992)。而此梯田尚做水稻田使用已是少數，大部分都變更爲蔬菜、花卉、茶園、或果園使用。然而，位於人口密集之都會區中上游之水稻梯田對蓄洪、防止土壤侵蝕、淨化水質等與災害防治有關之效益極爲顯著。在日本地區部分縣市爲了防止洪水災害，實施了「水田保全協定事業」等相關措施，由政府及民間共同參與推動，以確保梯田的存在(中島峰廣，1999)。有鑑於此，對本土梯田進行相關調查及保護，以彰顯其水土保育功能，實爲當務之急。本研究除闡明國外有關之梯田水理分析理論外，並於碧利斯颱風之後於新竹縣新埔鎮之梯田進行相關水土環境現地調查，除瞭解其滲流迴歸水利用之可行性外，並分析瞭解其在水土保育上之功能。

二、坡地水田之築造及水理分析

本研究藉由北部地區梯田構造之現地踏勘調查，包括築田工法及邊坡型式等影響入滲測流之因素，瞭解梯田入滲之基本行爲，並藉由文獻收集探討坡地水田地下水文流動狀況分析。

2.1 坡地水田築田工程

(1)梯田特徵

(a)配合現況地形築造

即使在急傾斜地，也可形成沿等高線開築之帶狀梯田，配合邊坡修築維 護，可以保持梯田長時期之耕種，目前台灣常見之田埂邊坡型式主要可分爲土坡、砌石邊坡、土石混和邊坡及混凝土邊坡等。

(b)播種面積率小

爲了使邊坡穩定，一般梯田開挖填方之規模較小，以致縮小了可耕種之面積比率。

(c)不利機械化耕作

田面面積較爲狹小，使其在農業經營之機械化方面，受到較大之限制。

(2)坡地水田築造工法

關於梯田築造施工方法大致可分爲切堆土施工法和全切施工法兩種（須藤良太郎等，1980），如圖 1 及圖 2 所示，台灣先

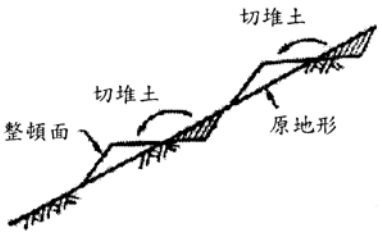


圖 1　原始切堆施工法

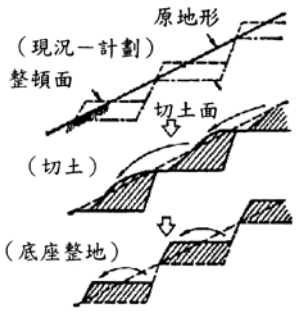


圖 2　新式全切施工法

民開墾時使用之工法爲前者，後者爲日本以機械整頓舊田或開墾新田使用之工法：

(a)切堆土施工法

在同一剖面裡，求取切堆土的平衡，就是俗稱的半切半堆，必需從地形的上部開始施工。雖然所需的土木工程量很少，但必需注意到表層土被埋入堆土的下部及防止堆土部的滑動。

(b)全切施工法

從上段直接掘開、將其全剖面的上下層之混合土全部堆到下段的施工法。這種施工法不但使梯田面積全部成爲切土面、同時加厚了有利於底座安定的耕作土。

2.2 坡地水田地下水流動特性分析

坡地水田之地下水流動機制極爲複雜，一般都是伏流在田區下層流動，很容易從田區之邊坡側或局部地方湧水。在梯田進行築造工程時，由於土體之切堆過程易使水田深層土壤受到擾動，使得水田更易產生湧水現象。

圖 3 爲坡地水田之基本地下水流型式。斜面湧水型是指從水田田面灌溉水入滲後穿透田埂邊坡之湧水型式；淺層湧水型是指地下水位較接近田面，透過邊坡底部到達下田（通常在比較淺處所看到的湧水則是以上兩種類型的複合型）；而深層湧水型則是從比較深層的地方湧出之地下水。

2.3 田面滲漏分析

水田之滲透機制基本上受 Darcy 定律所支配，依照 Darcy 法則，滲流速度 v 爲水力傳導係數(hydraulic conductivity) K 和水力坡降 J 的乘積。K 決定於土壤的性質、J 決定於現地之水理條件。水田土壤一般分成透水係數各不相同的表土、牛踏層、心土等土層，稱爲成層土壤(stratified soil)，其滲漏狀況又大致區分成飽和之封閉式和非飽和之開放式滲漏兩種情形。

封閉式滲漏屬於單純適用 Darcy 法則，及水的連續性條件之滲漏，其通過土層之一維垂直水流(以垂直向下爲正 z 軸(L)方向)通量 q (L/T)可以應用 Darcy equation 表示如下：

$$q = -K_L \frac{dH}{dZ_L} = -K_L[(h_T - h_B + Z_L)] \text{.....(1)}$$

式中　H：水力水頭(L)

h_T , h_B ：土層上下邊界壓力水頭(L)

K_L ：水力傳導係數(L/T)

在封閉式滲漏中之飽和土壤，水流之驅動力係由正壓位能坡降產生，而在開放式之未飽和土壤中則由母體位能（Matric potential）所引起，其爲一負壓位能。非飽和土壤一維垂直水流通量 q 亦可適用達西定律，然其水力傳導係數並非定值，爲負壓水頭 h 之函數，可將(1)式改寫如下：

$$q = -k(h)\frac{dH}{dz} = -k(h)\frac{dh}{dz} + k(h) \text{.....(2)}$$

一般而言，開放式之非飽和滲漏，其下層土層比上層土層之水力傳導係數大，一般發生在地下水位較低之處。上層存在著水力傳導係數較小

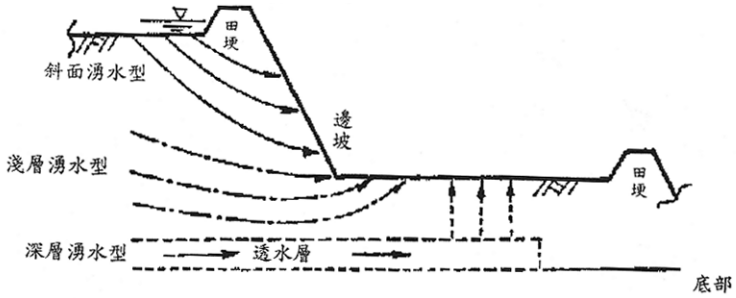


圖 3　坡地水田的水流動模式（永石義隆，1988）

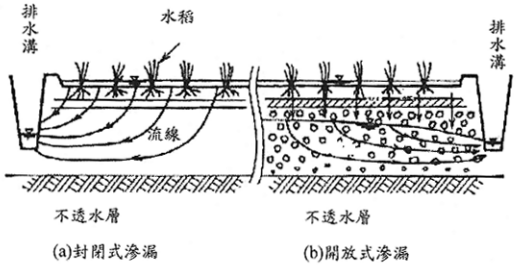


圖 4　水田封閉式滲漏和開放式滲漏（志村博康等，1988）

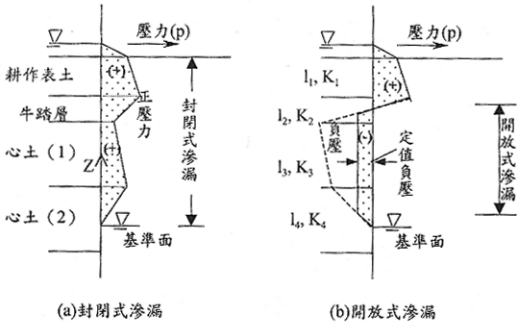


圖 5　水田土壤之水壓力分佈示意圖（志村博康等，1988）。（K_i、l_i 表示自上層到第 i 層的水力傳導係數和該土層之厚度）

的牛踏層，而滲漏通量 q 就是受到此一厚度不大之小土層限制，在下層發生較大之負壓力。當負壓力比心土層的臨界負壓力大時，大氣就會直接滲透到心土層，而此層壓力也會維持一個固定值，這種形式之滲漏稱爲開放式滲漏。在開放式滲漏中，即使變動心土層下方地下水位，也不會影響到上層之壓力分佈。

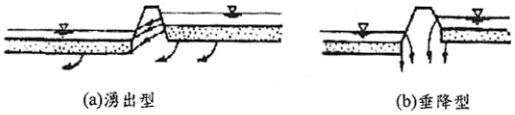


圖 6　水稻梯田邊坡滲流類型（山崎不二夫，1990）

2.4 梯田邊坡滲流分析

梯田田埂邊坡滲流可分成以下兩種形式，一是滲漏水由上田區通過邊坡往下田區湧出，一是往深層垂直滲漏。前者稱爲湧出型(亦即圖 3 之斜面湧水型)，後者稱爲垂降型（山崎不二夫，1990），如圖 6 所示。湧出型滲流，一般可在封閉滲漏之田區發現，而垂降型滲透，多發生在下層爲砂礫層之沖積扇水田、及火山灰台地水田，進行開放滲漏。

湧出型邊坡滲流水田，由於往下田區之邊坡滲流使得水份流失，但也可從其更高之田區透過邊坡提供回歸水。而且，往排水溝的滲流水也可被下方的水田迴歸反覆使用。因此，這種邊坡滲流水在灌溉用水計畫上較爲單純。但是垂降型邊坡滲透，由於滲漏水是往深層地下水位面流動匯集，所以其應用上只限於大區域之用水計畫，較不可能被反覆利用，以往在灌溉管理上常將其視爲一種損失水量。

三、現地梯田土壤水分量測

梯田調查區域位於新竹縣新埔鎮，新竹水利會新埔工作站灌區附近之梯田，其座落位置爲新竹縣新埔鎮大茅埔段大茅埔小段（如圖 7、圖 8 所示）。採樣量測土壤水分之梯田區域總面積共

圖 7　水稻梯田現地量測位置

10757.17 平方公尺，主要表土土壤成分爲壤土（朱振標，1997）。現地踏勘調查時間爲八十九年八月三十日，爲碧利斯颱風侵襲本島一週之後，當地雨勢持續至該日放晴，累計雨量估計超過 1000mm。主要量測田埂邊坡之含水量，此乃基於包括土石流等坡地災害，係大量土石飽和水分呈黏稠狀流動之現象，而坡地崩塌又與孔隙水壓升高有關。

其餘基本環境調查項目包括田區之湛水深、田埂寬度與坡面垂直高度。含水量飽和度量測則包括壤土田埂邊坡、卵石堆砌田埂邊坡及卵石混凝土漿砌田埂邊坡之田內與田埂邊坡之土壤含水量飽和度，圖 9 即爲邊坡土壤含水量之現場量測情形，圖 10 則爲本研究田內與田埂邊坡之土壤含水量量測示意圖。

田埂土壤含水量探測，以型號 AQUATERR 之美製手持式 Capacitance 水分探測器測定，其原理係以探測位置之雙介電常數（Dielectric constant）決定體積水分含量百分比。本調查分別量測現地三種不同形式之田埂邊坡及田區內之土壤含水量，包括爲壤土質田埂邊坡含水量數據（含田區）四組、卵石堆砌田埂邊坡（含田區）含水量數據五組、卵石混凝土漿砌田埂邊坡含水量數據一組。

3.1 環境背景資料

田區內湛水深約 5~10cm，泥濘層約 20cm。每一田區面積大小不一，平均寬度約 2m~10m。

表 1　壤土田埂邊坡及田區之土壤含水量（以飽和度表示）

田埂邊坡垂距 1m 處之水平方向土壤含水量		田埂外緣（距內緣 25cm）之土壤垂向含水量		田區內臨田埂之土壤含水量		梯田底部之田埂邊坡外緣表土含水量	
水平深度 (cm)	含水量 (%)	垂直深度 (cm)	含水量 (%)	垂直深度 (cm)	含水量 (%)	垂直深度 (cm)	含水量 (%)
10	82	10	71	10	100	10	87
20	78	20	79	20	100	20	81
25	81	30	84	25	93	30	93
30	85	40	93	30	93	40	93
		50	86	40	92	50	84
				50	88	60	75
				60	74		

圖 8　新竹縣新埔鎮之實驗水稻梯田區

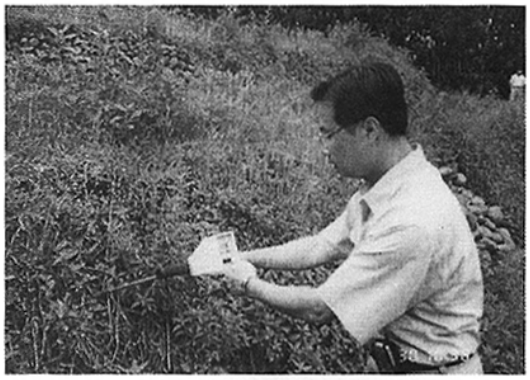


圖 9　田埂邊坡土壤含水量探測，以型號 AQUATERR 之美製手持式 Capacitance 水分探測器施測

田埂寬則爲 25cm~50cm，深度（距泥濘層表面）爲 15cm~20cm，田埂邊坡面之垂直高度約 1m~2.5m。在颱風侵襲之後，研究區域內並未發現田埂邊坡有侵蝕及滲流水現象，田區內之湛水亦維持清澈狀態，顯示其水土保持功能良好。

3.2 土壤含水量

(1)壤土田埂邊坡

田埂寬約 25cm，坡面垂直高爲 1.5m，底寬 1m，因此田埂邊坡之坡度爲 63.4°。田埂與田區土壤含水量量測結果如表 1 所示。田埂垂距 1m 處之田埂邊坡水平深度含水量，隨著深度之增加，呈現先減後增之趨勢（如圖 11），由於現場量測之前連續降雨，因此判斷爲降雨落於邊坡上，而使表層土壤含水量略高，而後深度接近田內區域時，受田區內之入滲影響，故其水分含量

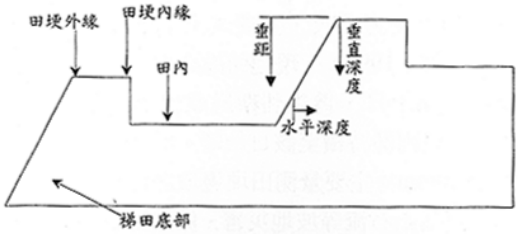


圖 10　土壤水分量測位置示意圖（未依比例尺）

復見上昇，因此量測之水平深度含水量，乃隨著深度之增加，呈現先減後增之趨勢，其餘數據均顯示與田區內相鄰土壤處之含水量較高，但皆爲非飽和分佈。另外，比較不同位置之壤土田埂土壤含水量（如圖 12），田內臨田埂之含水量平均較田埂外緣之含水量爲高，研判田內入滲以垂

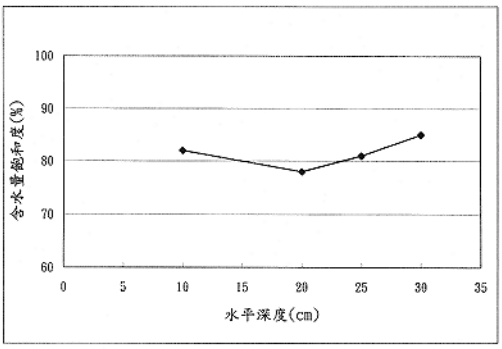


圖 11 壤土質田埂邊坡垂距 1m 處之水平土壤水分分布

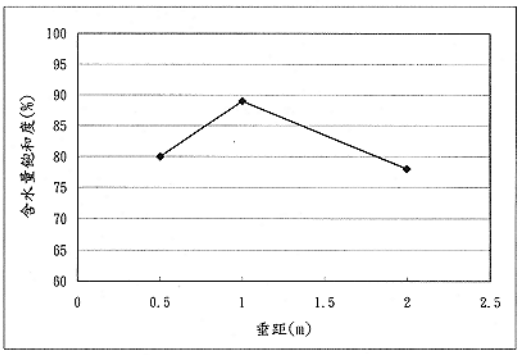


圖 13 卵石田埂邊坡田內中央與田埂外緣之土壤含水量垂向分布

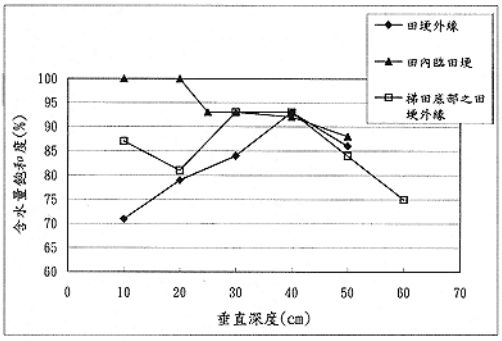


圖 12 壤土質田埂邊坡不同位置之土壤水分垂直分布

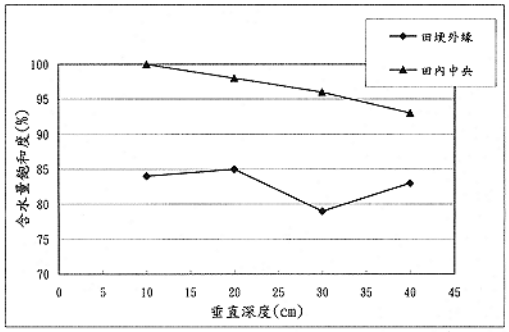


圖 14 卵石漿砌混凝土邊坡田埂外緣土壤垂向含水量分布

直入滲爲主，而田埂外緣深度 40cm 處之含水量偏高，應爲田內湛水受牛踏層阻擋而側滲所造成；進一步比較田埂外緣之土壤含水量，位於梯田底部之田埂含水量則較高，但皆爲非飽和分佈。

(2)卵石堆砌田埂邊坡

田埂表面土質部分寬 25cm，外覆 10cm 厚之堆砌卵石，坡面垂直高約 2m，底寬 30cm，因此田埂邊坡之坡度爲 87.1°，接近垂直。田埂邊坡由多層卵石堆砌而成，卵石堆砌層與內田區之間仍爲壤土襯裡，外層之卵石對手持式水分探測器之水平方向探測形成阻礙，數據較爲不足。土壤含水量量測數據如表 2。不同垂距田埂邊坡表土水平深度 10cm 處之土壤含水量如圖 13 所示，於垂距 1m 處之值較高，2m 處之值則又降低，由於此處接近下部田區之湛水位面，顯示上田區雖有田內水分側滲情形，但並未形成滲流水位面；田內中央與田埂外緣之土壤含水量則無太大的變化，其值較爲平均如圖 14 所示。

(3)混凝土漿砌田埂邊坡

田埂土壤寬 25cm，外覆 10cm 厚之混凝土牆，坡面垂直高 2m，底寬 25cm，爲垂直之田埂。土壤含水量量測數據如表 3，將量測數據繪製如圖 15，其田埂外緣之土壤含水量垂向分佈幾乎接近飽和，應爲內田區側滲之水分受滲透性極低之混凝土牆阻擋，使水分積聚所致。

3.3 綜合比較

由現勘之三種田埂邊坡型式加以比較，壤土田埂邊坡坡度較緩，田區面積較小；其次爲卵石

表 2　卵石堆砌田埂邊坡及田區之土壤含水量（以飽和度表示）

田埂邊坡表土（水平深度 10cm）垂向平均含水量		田埂外緣（距內緣 25cm）之表垂向土含水量		田區土壤垂向含水量	
垂距(m)	含水量(%)	垂直深度(cm)	含水量(%)	垂直深度(cm)	含水量(%)
0.5	80	10	84	10	100
1	89	20	85	20	98
2	78	30	79	30	96
		40	83	40	93

表 3　混凝土漿砌田埂之土壤含水量

田埂外緣（距內緣 25cm）之土壤垂向含水量	
垂直深度(cm)	含水量(%)
10	100
20	95
30	97
40	96

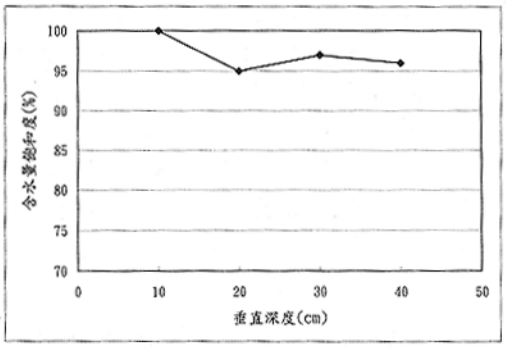


圖 15 卵石漿砌混凝土邊坡田埂緣土壤垂向含水量分布

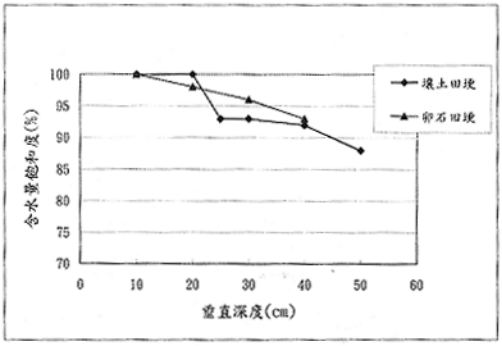


圖 16 不同田埂邊坡型式之田區內垂向土壤含水量分布

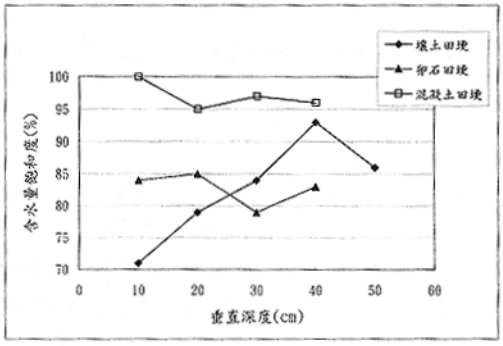


圖 17 不同田埂邊坡型式田埂外緣土壤含水量垂向分布

堆砌田埂邊坡；而混凝土卵石漿砌邊坡，幾爲垂直坡面，田區面積較大。由此可發現農民已經由經驗法則，讓田埂邊坡維持在穩定狀態。混凝土卵石漿砌邊坡雖具有較佳之抑止力，惟缺乏孔隙及植生，在應用上應考量其對農業生態環境之衝擊。田區內土壤含水量量測結果則顯示（如圖 16），在深度 20cm 以下，屬於耕犁後之泥濘層，其土壤含水量應爲過飽和狀態；20cm~40cm 之土壤含水量飽和度均在 90%以上，40cm 以下之值則較低。此一田區內土壤垂向分佈趨勢大致相同，並不因田埂邊坡型式不同，而有所改變。將三種形式之田埂外緣土壤含水量作比較（如圖 17），壤土田埂之土壤含水量變化較大，混凝土田埂之土壤含水量則平均分佈，卵石田埂之土壤含水量雖有差異，但其值仍較壤土田埂之值平均。綜合以上結果顯示，水稻梯田之邊坡水分含量，多屬非飽和分佈，顯示該區之田區側滲非湧出型之滲流型態。

四、綜合討論

水土保持係以保育水土資源，促進土地利用，減免土壤沖蝕、崩塌、地滑、土石流災害及涵養水源等爲目的。坡地水田在農地水土保持工法中，屬於平台階段之一種，但在水土保持功能及防災效果上遠勝於果園、雜糧、花卉等旱作梯田，其主要水土保育功能分析如下：

4.1 水源涵養迴歸利用分析

本次新埔地區坡地水田現地土壤水分量測，結果顯示，坡地水田雖經人工築造，其塡方處（即接近田埂邊坡處）之田區在經多年耕作後，亦有牛踏層形成之現象，致田區在泥濘層以下，其水分分佈即爲非飽和分佈。而邊坡土壤水分含量顯示，此處坡地水田之側滲應屬垂降型滲漏，因此上田區之入滲水分無法爲鄰接之下田區使用，此種迴歸水之利用可行性較低。惟垂直滲漏至地下水位面之水分，是否匯流至更低處或河谷平原區之水田而迴歸利用，有待進一步探討。

在日本之河川沖積扇地形與火山灰台地區域之水田，一到了灌溉期，地下水位就會上升。由於一般地下水質非常良好，故成爲工廠與都市之重要水源之一。由於水田滲漏之水可循環再被利用，因此具有地下水之涵養功能。因而有時爲了在休耕田灌水以涵養水源，便開始了「水田種水」制度。我國近年來亦在各地試行水田休耕期種水政策，未來應研究於水稻梯田推行此一政策。

4.2 蓄洪功能分析

由於梯田皆由田埂圍築，此次現地調查發現，此區之田埂高約 15~20cm，而水稻生長期之湛水在 5~10cm 左右，部分時段尙須排水，因此具有極佳之蓄洪功能，短天期之蓄水可維持在 10~20cm 左右，而梯田多座落於集水區上游，因此此一蓄洪功能對於降低暴雨洪峰具有一定之功能，依據志村博康（1982）之計算，其蓄水容量竟可達到約 51 億 m^3 之多，爲治水水庫洪水調節容量的 2 倍。日本因颱風與梅雨等所帶來的豪雨很多，因此，此等水田的蓄水功能極爲重要。尤以上游之水稻梯田一旦減少，豪雨之際形成之逕流將迅速的流出，使下游地區容易遭受水患。

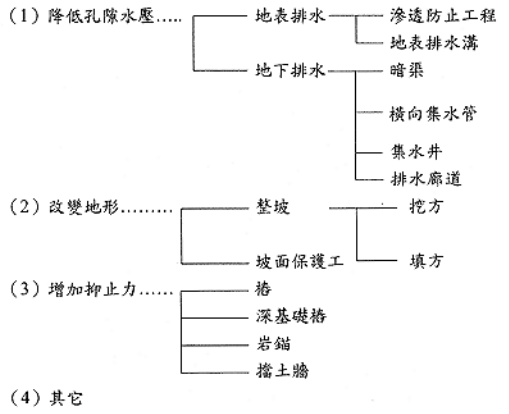
4.3 土壤保全功能分析

其次水田具有土壤保全的功能。若是在有坡度之旱作地，豪雨之際土壤較易遭到侵蝕而流失。坡地水稻梯田因其田面平坦且以田埂圍住，田面長期保持湛水，故土壤不容易被侵蝕。日本在其山間谷地花費了相當大的勞力來建造梯田，其最大的原因就在防止坡地之土壤侵蝕。而一般坡地旱田，常因無法承受土壤的侵蝕而毀棄，使其農業無法永續經營。

坡地一旦發生土壤侵蝕，不僅該處的農地會因土壤流失而荒廢，遭侵蝕的土壤會使下游的水流污濁，並堆積在河川與水路、水庫與取水堰中而造成更大的災害，進而造成水利設施之破壞。此次現地勘查之水稻梯田在歷經碧利斯颱風挾帶之暴雨侵襲後，並未發生田埂邊坡土壤侵蝕現象，田區內之湛水亦維持清澈狀態，並未因水質混濁使其表土經埂間缺口由上部田區流失至下部田區。

4.4 崩塌等災害防治分析

山坡災害不外沖蝕、崩塌、地滑、土石流及洪水泥砂災害，其影響因子除地形、地質、土壤及森林植生之基本因素外，尙有氣象及人爲開發的誘因。利用崩塌治理，宜先依據調查結果，瞭解其發生機制後，再選擇最經濟而有效之工程組合。一般常用之崩塌治理工法有(吳正雄，1992)：



上述(1)與(2)項工法係以改變邊坡之地形或地下水等自然環境條件來穩定邊坡，通稱爲抑制工；(3)項工法係以工程結構物來抑止邊坡滑動，稱爲抑止工。近年來台灣地區常見之土石流，乃大量土石飽和水分呈黏稠狀流動之現象，以本研究此次之現地土壤水分量測可知，水稻梯田雖屬人爲開發且研究區域之水稻梯田甫經颱風肆虐且豪雨不斷，但在田區之深層土壤仍維持非飽和水分流動狀態，田埂邊坡亦然。因此其孔隙水壓維持負壓狀態，不致降低邊坡之土壤承載力。而水田築造之挖塡工程，亦符合改變地形坡度之工程要求。實驗區所見之卵石堆砌邊坡或卵石混凝土漿砌邊坡更具有類似檔土牆之功能。因此維護水稻梯田之正常運作，亦是坡地防災之良方之一。

五、結論與建議

5.1 結論

1. 經由國外文獻分析顯示，水稻梯田具有極佳之水土保育功能，包括水源涵養、土壤保全、蓄水調洪及崩塌防止等各種公益功能。本次新埔地區坡地水田現地踏勘在歷經碧利斯颱風挾帶之暴雨侵襲後，並未發生田埂邊坡發生侵蝕現象，田區內之湛水亦維持清澈狀態，顯示其水土保持功能良好。
2. 現地邊坡量測顯示，壤土田埂邊坡坡度較緩，田區面積較小；其次爲卵石堆砌田埂邊坡；而混凝土卵石漿砌邊坡，幾爲垂直坡面，田區面積較大。由此可發現農民已經由經驗法則，讓田埂邊坡維持在穩定狀態。混凝土卵石漿砌邊坡雖具有較佳之抑止力，惟應用上應考量其對農業生態環境之衝擊。
3. 新埔地區坡地水田現地土壤水分量測顯示，田區心土層及田埂邊坡之水分分佈皆爲非飽和分佈。其滲流研判應屬垂降型滲漏，因此上田區之入滲水分無法爲鄰接之下田區使用，此種暗迴歸水之利用可行性較低。
4. 水稻梯田對山坡地之災害防止，在其築造及耕作後，除圍築之田埂有蓄水調洪功能外，亦具有降低孔隙水壓，改變地形，及增加抑止力等功能。

5.2 建議

1. 本研究之土壤水分檢測，係由現地利用手持式探測儀施測，爲量測當時之土壤水分含量，未來宜配合土壤剖面調查及埋設張力計等，俾能探討其長時期之水分變動情形。
2. 垂直滲漏至地下水位面之水分，是否匯流至更低處或河谷平原區之水田而迴歸利用，有待設置地下水位觀測井及利用三維地下水數值模式作進一步之探討。
3. 台灣地區因經濟高度發展，農村勞力缺乏以致集水區上游之水稻梯田面積日益縮減，對中下游之鄉鎮都市造成防災壓力，應參考日本結合政府、農民及都市居民共同參與維護之方法，賦予水稻梯田更大之公益效能。

謝　誌

本研究進行期間，承蒙行政院農業委員會蔡明華科長及林柏璋技正在研究方向及台灣大學農業工程學系甘俊二教授、七星農田水利研究發展基金會莊光明執行長在實驗及學理上之指導，另本研究經費來自行政院農業委員會計畫「水田對地下水涵養補注之評估」，編號 89 農發-11.1-林-02(06)之補助，在此一併致謝。

參考文獻

1. 吳正雄，1992，台北市水土保持綜合發展規劃之研究，台北市七星農田水利研究發展基金會。
2. 志村博康等，1988，新農業水利學，朝倉書店，pp36~58。
3. 山崎不二夫，1990，農地工學上冊，東京大學出版會，pp97~99。
4. 永石義隆，1988，農家にできる暗渠排水，農文協，pp76~78。
4. 須藤良太郎等，1980，農用地帙開發整備，山海堂，pp108~109。
5. 中島峰廣，1999，日本的梯田，古今書院。
6. 志村博康，1982，水田、旱田之治水機能評

價，農業土木學會誌，50(1)，pp25~27。
7. 田淵俊雄，1991，水田與環境問題，農業土木學會誌，59(11)，pp19~23。
8. 中川昭一郎，1993，耕作放棄水田的實態與對策，農業土木事業協會。
9. 朱振標，1997，新竹農田水利會新埔工作站灌溉地籍資料全面普查、校正及應用，農業工程研究中心研究報告，AERC-97-RR-19。

收稿日期：民國 89 年 11 月 4 日
接受日期：民國 89 年 12 月 12 日