

應用 CHASM 程式於植生坡地之水分移動分析

張育瑄⁽¹⁾ 馮正一^{(2)*} 林雨婷⁽³⁾

摘要

本研究應用水文及穩定模組(Combined Hydrology and Stability Model, CHASM) 於不同植生坡地進行水分移動之案例分析。本研究將環境變數區分為不同的坡形、土壤質地、雨型等，並加入坡地保育處理方案以探討其入滲與水分移動狀況。研究結果顯示，坡型變化（平面坡、凸坡、凹坡、山邊溝）轉折處入滲深度較深，其中又以山邊溝入滲效果最佳。土壤質地方面，以礫石的入滲深度最深；至於植生方面，以無植生的入滲深度最深，草本入滲深度最淺。

(**關鍵字**：CHASM、入滲、水分移動、邊坡)

An Application of CHASM to Analyze Water Movement in Vegetated Slopes

Yu-hsan Chang⁽¹⁾ Zheng-yi Feng^{(2)} Yu-ting Lin⁽³⁾*

Doctoral Student⁽¹⁾, Associate Professor^{(2)*}, Master Student⁽³⁾, Department of Soil and Water Conservation, National Chung-Hsing University 402, Taichung, Taiwan, R.O.C.

ABSTRACT

Combined Hydrology and Stability Model (CHASM) was applied in this study to analyze different cases for water movement in vegetated slopes. This research separates the environmental conditions into different parameters, such as slope shape, soil texture, rainfall type, and slope conservation treatments, to discuss the infiltration and movement of water. The results show that the deepest infiltration was at the curvature changes of the slope (plane slope, convex slope, concave slope, hillside ditch). Hillside ditch has the best efficiency in infiltration. For the parameter of soil texture, gravel material slope shows the deepest infiltration among others. For cover parameter of vegetation, slope without vegetation shows the deepest infiltration; in contrast, slope with herbaceous vegetation shows the least infiltration depth.

(**Keywords**: CHASM, infiltration, water movement, slope)

⁽¹⁾ 國立中興大學水土保持學系博士班研究生

⁽²⁾ 國立中興大學水土保持學系副教授,*通訊作者:E-mail: tonyfeng@nchu.edu.tw

⁽³⁾ 國立中興大學水土保持學系碩士班研究生

前言

CHASM 是一個結合坡地水文及邊坡穩定考量，對邊坡穩定情形進行評估的軟體。可探討降雨、入滲、逕流、蒸發等水文條件以及植物根系對降雨入滲之影響。

Wilkinson, et al. (2002)提出CHASM分析程式包含了水文學、地表覆蓋(植生)和穩定分析。其模擬地表截流、入滲、蒸發、未飽和與飽和流動等水文條件以及植物根系對降雨入滲之影響。未飽和部分(垂直流動)使用 Richard's equation :

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) - \frac{\partial K}{\partial z}$$

其中 θ 是體積水分含量(m³/m³)， z 代表垂直深度(m)， K 是垂直的未飽和水力傳導度(m/s)， ϕ 是基質吸力(負孔隙水壓)。飽和部分(側向流動)採用 Darcy 定律，其計算公式為：

$$Q = K_s h \frac{dh}{dx}$$

其中 K_s 為飽和水力傳導度(m/s)， h 是不透水層至地下水位線之高度， $\frac{dh}{dx}$ 表示水力坡降梯度。正、負孔隙水壓整合於有效應力，乃依據 Mohr-Coulomb 破壞準則。而植物根系的考量，其根系張力強度貢獻會增加土壤剪力強度。

Collison and Anderson(1996)綜合降雨、入滲、蒸發散等水文事件以及不同植生對邊坡穩定性之影響，以二維模式模擬降雨入滲之

行為。其中水文循環考量之相關公式如下所示。

(1) 遮蔽截留

截留量(t)=降雨量(t)*樹冠面積/集水區面積

蓄水量(t)=蓄水量(t-1)+截留量(t)-蒸發量(t)-
幹流量(t)

(2) 敷蓋效應

Rain'=rain/shedding factor

Rain'：有效降雨

rain：實際雨量

Shedding factor：瀉水因子

(3) 蒸發量公式

E=EMAX*sin[2π(time)]

E：蒸發量

EMAX：最大蒸發量

(4) 根系分布區

Increased Ks=RAR*K

Increased soil cohesion：C'new=C'
+1.2*(Tr*RAR)

RAR：根系面積比

C'new：新增凝聚力

Ks：飽和水力傳導度

C'：凝聚力

K：水力傳導度

Tr：根拉力強度

由研究可知，植生會改變邊坡的土壤機

制和水文條件。其中土壤機制包括土壤剪力加勁和滑動面所增加的正向力；水文條件包括減少有效降雨、增加入滲量和土壤滲透力、減少水分含量和降低地下水位。對於深層土壤而言，植物根系雖無法深入整個土壤層，但能使滑動面在根系分布區之下，減少坡頂或坡趾的破壞，因此植生對坡面所增加的效益就會提高。其次，地滑的主因是在高水位的情況下發生暴雨，並非因提高地下水位。因此控制邊坡穩定最重要是具有高的基質吸力。如圖 1 所示，有植生的邊坡具有較高的入滲容量且因較高的基質吸力可增加邊坡的穩定性。Collison and Anderson(1996)推斷植生具提高入滲量以增加孔隙水壓的可能性，且植物的分布情形與其對土壤穩定機制的影響非常重要。

水分移動的關係。研究結果顯示，草類植物根系分布相較木本植物淺，造成淺層土壤水分含量變化大，故水分含量變化幅度隨深度遞減。另外，土壤質地的差異亦會影響土壤水分特性，在相同基質吸力條件下，砂土水分含量遠低於粘土。而降雨來臨時，水分特性曲線斜率較陡之土壤，其水分能快速進入土體中，降低逕流量。

黃皇嘉(2005)探討降雨期間之入滲現象，依據各降雨事件土壤之狀態，區分為乾燥土壤與潮溼土壤進行入滲時間評估。乾燥土壤(初始含水量低)入滲至 30cm 深的土壤層需 39mm 的累積降雨量；潮溼土壤只需 3mm 之累積降雨量。顯示土壤本身之初始含水量對影響入滲機制佔有重要之地位。

蔡義誌(2008)探討草類植生類型對土壤

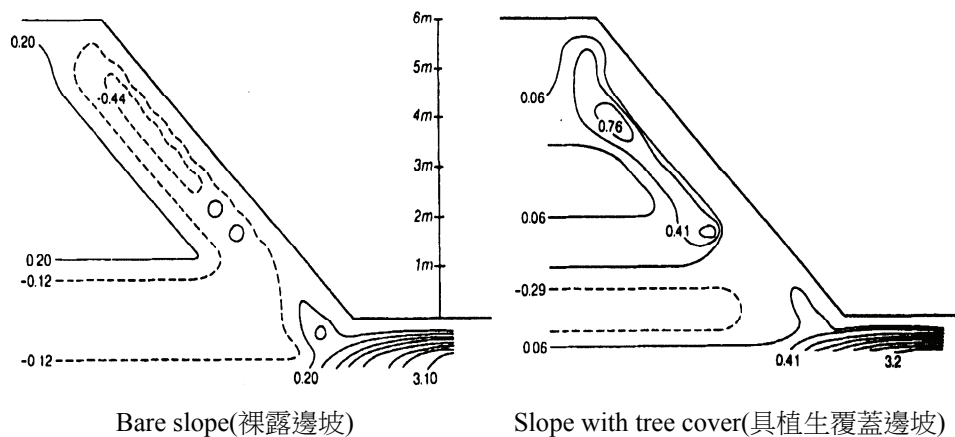


圖 1 有無植生之孔隙水壓比較(Collison and Anderson, 1996)

Figure 1 Difference in pore pressure distribution for vegetated and non-vegetated slopes

研究方法與步驟

一、研究流程

本研究使用水文及穩定模組(CHASM)模擬，進一步探討環境因子對入滲與水分移動的影響。參考前人文獻擬定各項入滲影響參

數，如水力傳導度、體積含水量、土壤單位重等。參數設定部分則為邊坡初始環境條件，如坡型、地質、蒸發散量、截留和植生覆蓋等。設定環境因子後，利用 CHASM 程式之有限差分法進行水文計算，可得到水文分析結果，而本研究即針對各小時之土層水分含量分布情形加以彙整並比較其模擬結果進行討論。研究流程如圖 2 所示。

二、水文及穩定分析模組(CHASM)

本研究採用 Wilkinson, et al.(2001)之 CHASM 程式進行入滲分析，其模式之概念如圖 3 所示，程式計算方式為”Bishop’s simplified circular method”。使用 CHASM 模擬最重要為 2D 坡形的建立和初始地下水

位，如圖 4 所示，其他邊界條件包括飽和水力傳導度 $K_s(m/s)$ 、飽和體積含水量 $\theta_s(m^3/m^3)$ 、飽和體積密度 $\gamma_s(kN/m^3)$ 、未飽和體積密度 $\gamma(kN/m^3)$ 、有效凝聚力 c' 、有效摩擦角 ϕ' 和水分特性曲線(SMC)。

三、參數分析

根據前人研究擬定入滲的影響參數，以不同的環境因子(如：坡型、坡度、土壤質地等)分析對入滲之影響，如表 1 所示。本研究假設大雨、中鋒、平面坡、四級坡、砂土(sand)、木本植物作為基準案例，再與其他案例相互比對結果。

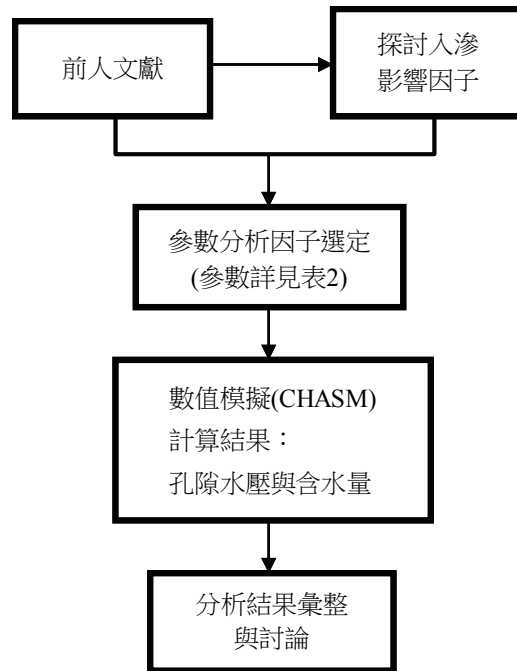


圖 2 本研究流程圖

Figure 2 Flowchart of the study

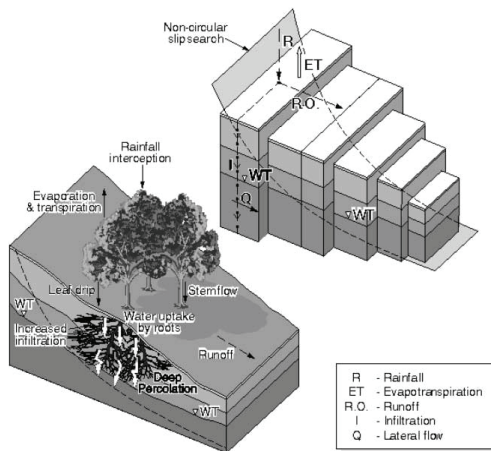


圖 3 CHASM 程式分析概念示意圖

Figure 3 CHASM Structure
(Wilkinson, et al. ,2001)

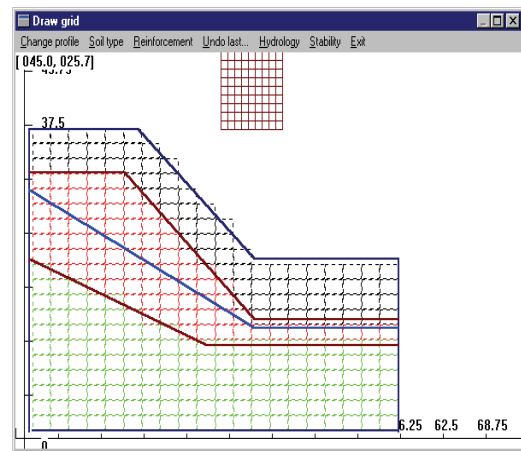


圖 4 2D 邊坡剖面

Figure 4 The profile of the 2D slope in CHASM
(Wilkinson, et al. ,2001)

表 1 參數分析因子

Table 1 Factors of the parametric study

分析因子	因子分類
降雨量	大雨、大豪雨
雨型	前鋒、中鋒、後鋒
坡型	平面坡、凹坡、凸坡、山邊溝
坡度	3 級坡(30%)、4 級坡(40%)、5 級坡(50%)
土壤質地	砂土(sand)、坩土(silt)、粘土(clay)、礫石(gravel)
植生	草本、木本、無植生

1. 雨量

雨量分為大雨及大豪雨兩種。以中央氣象局之訂定標準，大雨為二十四小時累積雨量達五十毫米以上，且其中至少有一小時雨量達十五毫米以上之降雨現象；若二十四小時累積雨量達二百毫米以上則稱之為大豪雨。本研究大雨、大豪雨兩種降雨延時皆為 2 天，其累積降雨量分別為 136.9mm 與

325.35mm。

2. 雨型

雨型分為前鋒型、中鋒型及後鋒型三種雨型(石棟鑫,2001) (如圖 5~7)比較其對入滲之影響，前鋒型雨型定義為降雨強度由大排到小；中鋒型之降雨強度最大值在 1/2 延時處；後鋒型之降雨強度則由小排到大。下列為所設定之降雨組體圖 (降雨量為大雨)。

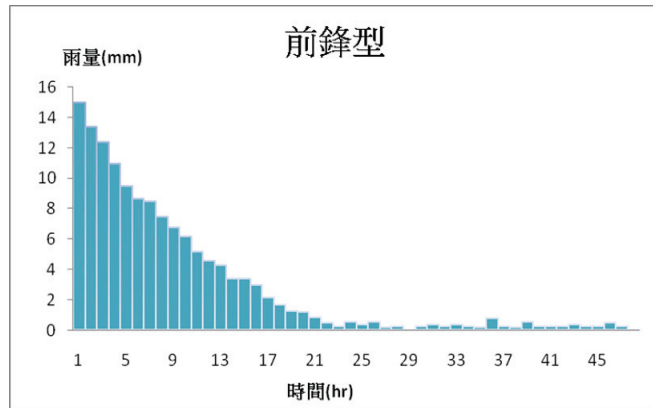


圖 5 前鋒型降雨組體圖

Figure 5 Peak at the first section

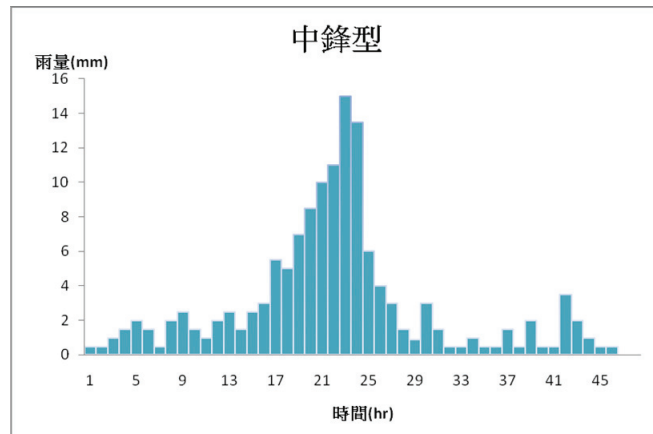


圖 6 中鋒型降雨組體圖

Figure 6 Peak at center

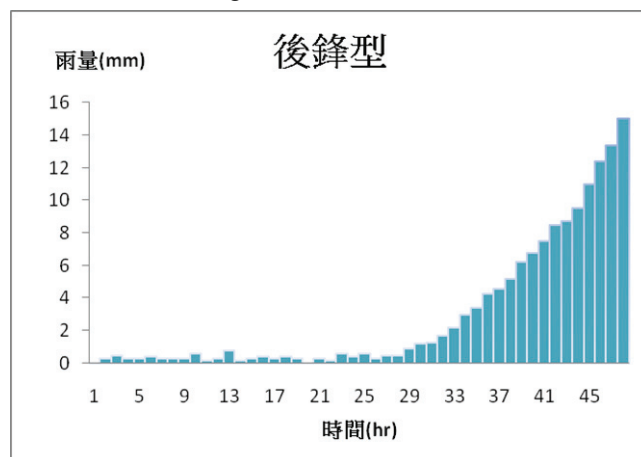


圖 7 後鋒型降雨組體圖

Figure 7 Peak at the third section

3. 坡型

(1)平面坡、凸坡、凹坡：以等高線來區分平面坡、凸坡、凹坡，當等高線距離越近，表示地形越陡；等高線相隔越遠，表示地形平緩。在等高線地形圖上，若等高線上闊下窄，則表示為凸坡，反之，等高線上窄下闊則為凹坡。

(2)山邊溝：如圖 8 所示，根據水土保持手冊(2007)，山邊溝之目的是減短坡長，分段截洩逕流以防止沖蝕以及提供田間作業道路，主要以坡度 40%以下為原則，若有覆蓋完密之果樹、牧草地、可適用至坡度 55%。不同坡度(%)有不同水平距與垂直距，其計算公式如下：

$$VI = \frac{S+6}{10}$$

$$HI = \frac{VI}{S} \times 100 = \frac{S+6}{S} \times 10$$

VI :垂直距； HI :水平距； S :坡度(%)

本研究假設坡度為 40%，溝底寬為 2 公尺，根據計算得到的垂直距為 4.6m 與水平距

為 11.5m，溝距則為 12.4m。

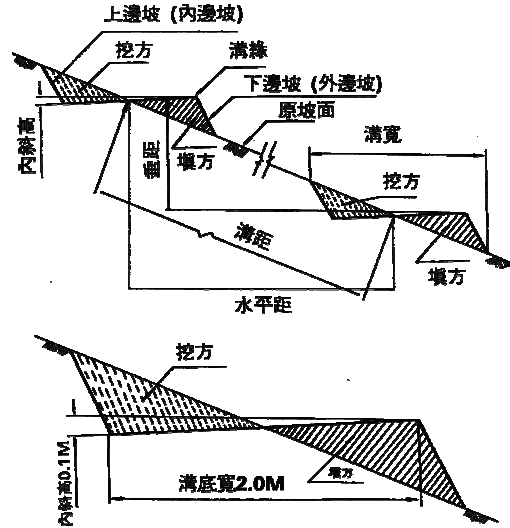


圖 8 山邊溝斷面(摘自水土保持手冊, 2007)

Figure 8 The section of the hillside ditch

4. 坡度

根據水土保持技術規範(2003)，3、4、5 級坡為宜農牧地，考量 5 級坡以上較少栽種，故以 3 級坡、4 級坡、5 級坡比較入滲之情形，程式模擬時則以 30%、40%及 55%進行分析。

5. 土壤質地

土壤質地分為砂土(sand)、坩土(silt)、粘土(clay)、礫石(gravel)四種不同質地之土層作為比較。表 2 為其材料參數設定。

表 2 參數分析之材料參數設定

Table 2 Parameters of material in this study

參數	clay(粘土)	silt(坩土)	sand(砂土)	gravel(礫石)
飽和水力傳導度 m/hr	3.6×10 ⁻⁶	3.6×10 ⁻⁴	0.036	1.188
飽和體積含水量	0.495	0.418	0.35	0.282
C	0	0	0	0
ψ(°)	29	31	33	36
γ(KN/m ³)	16.02	17.18	17.77	20.05

(參考自 Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design ,Kulhawy and Mayne,1990)