

六龜試驗林中寮溪泥砂啟動空間變化

盧惠生⁽¹⁾ 林壯沛⁽²⁾ 黃良鑫⁽³⁾ 林介龍⁽³⁾ 王秋嫻⁽⁴⁾

摘要

本文以降雨-延時-頻率及設計雨型歷線推估式，採用逕流曲線指數法暴雨流量推估模式，推估中寮溪集水區不同頻率年洪峰流量，再以以4種現有不同河床質泥砂啟動推估式，推算中寮溪8個斷面不同頻率年洪峰流量可能移動之最大泥砂粒徑空間變化。

各斷面的泥砂啟動推估，Shields臨界推移力法、Mavis & Laushey溪床底部臨界流速法、Neill平均臨界流速法及Yang平均臨界流速法等4種方法推算最大泥砂啟動粒徑頗為接近，方法間差異僅約-16.5%至26.5%間。但斷面與斷面間的泥砂啟動推估空間變化，相異極大，達5-7倍。至於泥砂啟動粒徑的空間變化特性，主要受到溪床坡度與平均水深的影響，泥砂啟動粒徑與溪床坡度及平均水深成正比關係。

根據Shields、Mavis & Laushey、Neill及Yang等4方種推算之平均最大泥砂啟動粒徑，獲悉中寮溪集水區頻率年：1、2.33、5、10、20、25、50、100年；洪峰流量：41.4 cms、49.5 cms、60.1 cms、70.1 cms、81.4 cms、85.4 cms、98.8 cms、114.0 cms；8個斷面的最大泥砂啟動粒徑空間變化範圍：17.3-93.9 cm、19.5-103.0 cm、22.2-114.0 cm、24.5-123.4 cm、27.1-133.4 cm、28.0-136.8 cm、30.8-147.6 cm、33.9-159.0 cm。

(**關鍵詞**：空間變化、泥砂啟動、洪峰流量、中寮溪)

Spatial Variations of Sediment Movement Initiation in the Chungliao Creek at Liukuei Experimental Forest of Southern Taiwan

*Hui-sheng Lu⁽¹⁾, Jaung-pei Lin⁽²⁾, Liang-shin Hwang⁽³⁾
Chieh-lung Lin⁽³⁾, Chiu-hsien Wang⁽⁴⁾*

Senior Scientist & Head, Associate Scientist, Assistant Scientist, Research Assistant, Watershed Management Division, Taiwan Forestry Research Institute, Taipei, Taiwan 10066, R.O.C.

-
- (1) 農業委員會林業試驗所集水區經營組研究員兼組長，通訊作者
 - (2) 農業委員會林業試驗所集水區經營組副研究員
 - (3) 農業委員會林業試驗所集水區經營組助理研究員
 - (4) 農業委員會林業試驗所集水區經營組技佐

ABSTRACT

In this study, peak flows of different recurrence years at Chungliao creek within Liukuei experimental forest of southern Taiwan were determined with rainfall depth-duration-frequency and design hyetograph estimated equations as well as SCS curve number storm flow model. Spatial variation of sediment movement initiation for eight cross sections of the Chungliao creek was estimated with four kinds of current incipient motion methods. Based on the fixed cross sections of the Chungliao creek, the differences of estimated particle sizes among Shields, Mavis & Laushey, Neill and Yang methods were only from -16.5% to 26.5%. Differences of estimated particle sizes for spatial variation of eight cross sections by Shields, Mavis & Laushey, Neill and Yang methods were very large and about from five to seven times. Spatial variations of sediment incipient motion in the Chungliao creek were affected by slopes and water depths of cross sections. Particle sizes of incipient motions at different cross sections increased as slopes and water depths increased.

Peak flows of 1, 2.33, 5, 10, 20, 25, 50, 100 year return periods were 41.4 cms, 49.5 cms, 60.1 cms, 70.1 cms, 81.4 cms, 85.4 cms, 98.8 cms, 114.0 cms. Spatial variation ranges of particle sizes for incipient motion of sediments being averaged by Shields, Mavis & Laushey, Neill and Yang methods were 17.3-93.9 cm, 19.5-103.0 cm, 22.2-114.0 cm, 24.5-123.4 cm, 27.1-133.4 cm, 28.0-136.8 cm, 30.8-147.6 cm, 33.9-159.0 cm for eight cross sections of the Chungliao creek.

(**Keywords:** Spatial Variation, Incipient Motion of Sediment, Peak Flow, Chungliao Creek)

緒 言

溪床的河床質泥砂啟動推估起源頗早，以推移力來考量，即考慮水流對泥砂顆粒的推移力，稱臨界推移力法，如 Shields (Vanoni, 1964; Vanoni, 1975) 泥砂顆粒啟動推估的臨界推移力公式；以流速來考量，即考慮水流對泥砂顆粒的衝擊力，稱臨界流速法，如 Mavis & Laushey (1948) 泥砂顆粒啟動推估的溪床底部臨界流速公式，或 Neill (1967) 與 Yang (1973) 泥砂顆粒啟動推估的溪流平均臨界流速公式。

台灣上游集水區溪流比降大，多屬急流河溪，上游溪床散佈著卵石，河床質泥砂夾

雜石礫級粒徑，甚多來自兩岸崩場的岩石與埋藏於溪床底部的石塊。河床質泥砂受到水流能量推動沿著溪床移動(陳，1998)，颱風豪雨季節時，溪流洪水暴漲，洪水推移停置與埋藏溪床石礫，促使石礫級河床質泥砂沿著溪床移動與滾動，常導致溪流中水工構造物受到撞襲而損毀，且改變溪床與溪流兩岸地形，破壞水生動植物的棲息地。同時上游集水區溪流，不同地點的溪床縱斷面，坡度變異甚大，同時橫斷面的寬窄亦有相當程度變化，較陡且窄之溪床斷面，流速較急，洪水可移動較大之石礫級河床質泥砂，破壞溪流中水工構造物潛力更大，較緩且寬之溪床斷面，流速較緩，洪水僅可移動較小之石礫級

河床質泥砂，破壞溪流中水工構造物潛力較小。

由於上游集水區溪流坡度變化迅速，溪床橫斷面寬窄變化多端，溪流流速隨之多變，沿著溪床移動與滾動的石礫級河床質泥砂粒徑，變化莫衷一是，溪流中水工構造物及溪床兩岸地形受到的影響，亦變異甚大。本文乃以降雨-延時-頻率與設計雨型歷線推估式，採用美國土壤保育局之逕流曲線指數法暴雨流量推估模式，推估中寮溪集水區之不同頻率年洪峰流量，再以現有 4 種不同河床質泥砂啟動推估式，推估中寮溪溪床不同斷面之可能移動最大河床質泥砂粒徑，以探討中寮溪溪床泥砂啟動的空間變化，供上游集水區溪流規劃治理之參考。

材料與方法

1. 中寮溪集水區概況

中寮溪集水區位於高雄縣六龜鄉林業試驗所六龜試驗林內，中寮溪集水區主流海拔 520 m 處，設有水文觀測站，以監測暴雨量與暴雨流量。中寮溪集水區，面積 721 ha，平均坡度 59.7%，主流最高海拔 1800 m，主流最低海拔 520 m，主流長度 6.9 km(圖 1)(盧等，2007)。

中寮溪集水區的年平均雨量約 2880 mm，年平均溫度約 19 °C，年平均最高溫度約 23 °C，年平均最低溫度約 11 °C，年相對濕度約 86%。地質為中新世廬山層，岩石由硬頁岩、板岩及硬砂岩組成，土壤質地為壤土與黏質壤土，土地利用為天然闊葉林與人工林(盧等，2006)。

2. 逕流曲線指數法(SCS runoff curve number)暴雨流量歷線推估

採取美國農部土壤保育局提出的逕流曲線指數法暴雨流量推估模式(Steenhuis et al., 1995; Ponce and Hawkins, 1996)：

$$Q = \frac{(P - 0.2 SM)^2}{P + 0.8 SM}, P > 0.2 SM \quad (1)$$

$$Q = 0, P \leq 0.2 SM \quad (2)$$

$$SM = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3)$$

式(1)、(2)及(3)中，Q 為暴雨流量(mm)，P 為暴雨量(mm)，SM 為土壤最大涵蓄水量(mm)，CN 為逕流曲線指數，無因次。

由式(1)-(3)之逕流曲線指數法可計算降雨發生後，其降雨歷線所產生的累積暴雨流量(Q)，由累積暴雨流量之 Q_{i+1} (第 i+1 時刻之累積暴雨流量) 減去 Q_i (第 i 時刻之累積暴雨流量)，可得第 i 與 i+1 時間間隔的暴雨流量(ΔQ)，故同樣的程序，可以計算由降雨開始至降雨結束間，任意單位時段內之暴雨流量，即 ΔQ_1 、 ΔQ_2 . . . ΔQ_{i+1} . . . 等，事實上單位時段內之暴雨流量 ΔQ_i ，它與單位時段的超滲雨量 ΔRE_i 同意義。超滲雨量乃是降雨至地面後，可形成暴雨流量的雨量。

超滲雨量產生後，只要確定單位歷線，然後配合超滲雨量歷線，可推估坡地或集水區之流量歷線。單位歷線的形狀頗多(Overton and Meadows, 1976)，本文採用三角形單位歷線，且以 1mm 之單位歷線超滲雨量，面積以公頃為單位來說明。

$$Q_p = 0.00208AQ_u/T_p \quad (4)$$

A：面積(ha)

Q_u : 單位歷線暴雨流量或超滲雨量(mm)

T_p : 洪峰時間(h)

Q_p : 洪峰流量(m^3/s)

根據式(4)可知，由單位時間深度之超滲雨量，以三角形單位歷線法計算其洪峰流量，必須知道面積、超滲雨量及洪峰時間，此三個參數，僅洪峰時間未知數，不易獲知，但可由集流時間(t_c)之獲得，然後再計算洪峰時間(T_p)。

集流時間的計算方法，經鄭與林(1992)整理各種集流時間公式，發覺現有集流時計算公式，均嫌偏小。筆者(盧，1988)計算小集水區的集流時間，採用分段式計算，將集水區集流時間 t_c ，由集水區坡面集流時間 t_{c1} 與集水區主流集流時間 t_{c2} 組合而成， $t_c = t_{c1} + t_{c2}$ ，主因集水區面積小時，坡面逕流的集流時間影響極大。

$$t_{c1} = \frac{L_s}{3600 V_1} \quad (5)$$

式(5)中 t_{c1} 為集水區坡面集流時間(h)， L_s 為集水區平均坡長(m)，等於集水區面積除以集水區主流長度再除以 2， V_1 為坡面逕流流速(m/s)，中寮溪集水區係森林集水區，森林集水區暴雨流量主要是由土壤水流出，林地坡面逕流流速須考慮土壤水流動遲緩與延滯，故遠比裸露地坡面逕流流速緩慢，因而坡面逕流流速採用 2.4 cm/sec (盧等，2006)。

$$t_{c2} = \frac{L_m}{3600 V_2} \quad (6)$$

$$V_2 = 20 \left(\frac{H}{L_m} \right)^{0.6} \quad (7)$$

式(6)與(7)中， t_{c2} 為主流集流時間(h)，

V_2 為集水區主流流速(m/s)， L_m 為集水區主流長度(m)， H 為主流最高處至最低處高差(m)。

集流時間獲得以後，其與洪峰時間(T_p)、基底時間(T_b)、雨量單位時間間隔(D_t)之關係，依照美國水土保持局已建立如下關係式。

$$T_p = (2/3) t_c \quad (8)$$

$$D_t = 0.2 T_p \quad (9)$$

$$T_b = (8/3) T_p \quad (10)$$

已知 Q_p 、 T_p 、 T_b 、 D_t 等因子，即可計算三角形單位歷線(U)各變化點。單位歷線獲得後，以式(1) (2) (3)，由累積降雨量(P)，求出各暴雨歷時時間的累積暴雨流量(Q)，由累積暴雨流量換算各單位時間之暴雨流量(ΔQ_i)，即各單位時間的超滲雨量(ΔRE_i)。

超滲雨量與單位歷線流量以矩陣法相乘，即可獲得暴雨流量歷線

3. 泥砂啓動推估

溪床的河床質泥砂啓動推估方法(Graf, 1984; Yang, 1996)頗多，大致而言，可分稱臨界推移力法與臨界流速法兩大類。本文採用 Shields (Vanoni, 1964; Vanoni, 1975) 的臨界推移力法、Mavis & Laushey (1948)、Neill(1967)與 Yang (1973)的臨界流速法。

(1) Shields 臨界推移力法 (Vanoni, 1964; Vanoni, 1975)

$$\frac{\tau_{cr}}{(\gamma_s - \gamma) d} = 0.06 \quad , \quad Re_* = \frac{U_* d}{\nu} > 500 \quad (11)$$

τ_{cr} : 溪床底部單位面積的臨界推移力 (N/m^2)。

γ_s ：為河床質泥砂顆粒的單位體積重量 (2.65x9778 N/m³)。

γ ：為水的單位體積重量 (25°C時為 9778 N/m³，62.24 lb/ft³)。

d：為河床質泥砂粒徑 (m)。

Re_s：為剪力雷諾係數 (shear Reynolds number)，無因次。

U_{*}：為剪力速度 (shear velocity) (m/s)，

$$U_* = \sqrt{\tau/\rho}, \tau = \gamma R_h S \cong \gamma DS$$

R_h：水力半徑(m)

S：坡度，無因次。

D：平均水深(m)。

ρ ：水的密度(25°C時為 997.1 kg/m³，1.9346 slugs/ft³)。

ρ_s ：河床質泥砂的密度(25°C時為 2.65x997.1 kg/m³，2.65x1.9346 slugs/ft³)。

ν ：為水的運動黏滯性 (kinematic viscosity)(m²/s)，25 °C 時為 0.000000897 m²/s，0.0000096875 ft²/s。

g：重力加速度(9.8064 m/s²，32.172 ft/s²)

(2) Mavis & Laushey (1948)溪床底部臨界流速法

$$(V_b)_{cr} = 0.155d^{1/2} \quad (12)$$

(V_b)_{cr}：溪床底部臨界流速 (m/s)，

$$(V_b)_{cr} = 0.7(V_{cr})$$

V_{cr}：溪流平均臨界流速 (m/s)。

d：為河床質泥砂粒徑 (mm)。

(3)Neill(1967)平均臨界流速法

$$\frac{(V_{cr})^2}{\left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1\right)gd} = 2.50 \left(\frac{d}{D}\right)^{-0.20} \quad (13)$$

V_{cr}：溪流平均臨界流速(m/s)。

D：平均水深(m)。

d：為河床質泥砂粒徑 (m)。

(4)Yang(1973)平均臨界流速法

$$\frac{V_{cr}}{\omega} = \frac{2.5}{\log(U_*d/\nu) - 0.06} + 0.66,$$

$$1.2 < \frac{U_*d}{\nu} < 70 \quad (14a)$$

$$\frac{V_{cr}}{\omega} = 2.05, \quad 70 \leq \frac{U_*d}{\nu} \quad (14b)$$

$$\omega = 6.01d^{1/2} \quad (\text{英制}) \quad (14c)$$

$$\omega = 3.32d^{1/2} \quad (\text{公制}) \quad (14d)$$

V_{cr}：溪流平均臨界流速(ft/s，m/s)。

Re_s：為剪力雷諾係數 (shear Reynolds number)，無因次。

U_{*}：為剪力速度 (shear velocity)，

$$U_* = \sqrt{\tau/\rho}, \tau = \gamma R_h S \cong \gamma DS$$

R_h：水力半徑(ft, m)

S：坡度，無因次。

D：平均水深(ft, m)。

ρ ：水的密度(25°C時為 1.9346 slugs/ft³，997.1 kg/m³)

ν ：為水的運動黏滯性 (kinematic viscosity)(m²/s)，25°C時為 0.0000096875 ft²/s，0.000000897 m²/s。

d：為河床質泥砂粒徑 (ft，m)。

ω ：河床質泥砂在水中的沉降速度，(式 14c 時 ω 為 m/s·d 為 m；式 14d 時 ω 為 ft/s，d 為 ft)

結果與討論

1. 暴雨流量特性推估

本文以降雨-延時-頻率與 24 小時設計雨

型歷線推估公式，採用美國土壤保育局之逕流曲線指數法暴雨流量推估模式，推估中寮溪集水區不同頻率年之 24 小時暴雨流量特性，所需輸入資料如下：

- (1)面積：721公頃。
- (2)主流長度：6900公尺。
- (3)集水區主流最高海拔：1800公尺。
- (4)集水區主流最低海拔：520公尺。
- (5)坡面逕流流速：2.4 cm/sec，參考盧(2006)。
- (6)逕流曲線指數：CN=70，盧等(2006)建立之中寮溪集水區CN值。
- (7)暴雨量：

引用盧等(2004)於六龜試驗林建立之降雨-延時-頻率推估式，如下式：

$$P_t^T = 69t_r^{0.47} T^{0.19} \quad (15)$$

式(15)的 P_t^T 為T頻率年 t_r 降雨延時之降雨量(mm)， t_r 為降雨延時(h)，T為頻率年(y)。由式(15)計算所得，24 小時降雨延時之降雨量：100 年頻率年為 737.1 mm，50 年頻率年為 646.2 mm，25 年頻率年為 566.4 mm，20 年頻率年為 542.9 mm，10 年頻率年為 475.9 mm，5 年頻率年為 417.2 mm，2.33 年頻率年為 360.9 mm，1 年頻率年為 307.3 mm。

- (8)設計雨型歷線：

引用盧等(2004)於六龜試驗林建立之 24 小時降雨延時設計雨型歷線推估式，如下式：

峰前段(上升曲線)： $t \leq 18$ ：

$$I_e = 0.84035 e^{0.1468t} \quad (16)$$

峰後段(下降曲線)： $t \geq 18$ ：

$$I_e = 34285 e^{-0.443t} \quad (17)$$

式(16)-(17)中 I_b 為峰前段設計雨型歷線降雨強度百分比推估值(%)， I_a 為峰後段設計

雨型歷線降雨強度百分比推估值(%)， t 為時間(h)。

將不同頻率年 24 小時降雨延時推估之暴雨流量歷線特性列表如表 1，由表 1 可知暴雨流量：100 年頻率年為 10 年頻率年的 1.7 倍，10 年頻率年為 1 年頻率年的 1.8 倍；洪峰流量：100 年頻率年為 10 年頻率年的 1.6 倍，10 年頻率年為 1 年頻率年的 1.7 倍。致不同頻率年暴雨流量的差異與洪峰流量的差異相似，此係洪峰流量由超滲雨量乘以三角單位歷線計算而來，而超滲雨量的內涵，為暴雨流量，至於三角單位歷線是固定不變的，因而不同頻率年洪峰流量的差異與暴雨流量的差異相似。然而表 1 的暴雨流量佔暴雨量百分比，隨暴雨量而增加，乃本文暴雨流量係由逕流曲線指數模式推算而來，逕流曲線指數法的基本精神，係暴雨量愈大，暴雨流量增加愈快，增加速度非直線式，呈曲線式，故暴雨量愈大，暴雨流量率愈大。

至於不同頻率年推估之暴雨流量特性是否合理，由表 1 中 10 年頻率年 24 小時降雨延時推估之暴雨流量為 366.3 mm，暴雨流量率為 77%，洪峰流量為 70.1 cms，換算洪峰比流量為 9.7 cms/km²，如比較黃(1985)於畢祿溪 11 號集水區，面積 144 公頃，以年最大洪峰流量觀測數據，進行頻率分析，獲得 10 年頻率年 24 小時降雨延時暴雨量之洪峰比流量為 8.4 cms/km²，顯示台灣南部地區中寮溪集水區 10 頻率年的洪峰流量，比台灣中部地區畢祿溪 11 號集水區的洪峰流量略大。

2. 泥砂啟動空間變化推估

- (1)溪床坡度與溪流橫斷面水力特性

使用水準儀將中寮水文站 200 m 縱長

的溪床比降與 8 個橫斷面位置關係如圖 2，可知上游集水區，即使僅約 200 公尺縱長的溪床比降，變化甚大，在 0.0247-0.1986 間，如表 2，此 8 個橫斷面形狀如圖 3。同時 8 個橫斷面分別的最深水深(H)為自變數，水流面積(A)、水面寬(W)，平均水深(D)（水流面積除以水面寬）為應變數，進行迴歸分析，其迴歸關係式如表 3。

表 3 中之式(18)-(25)為水流面積(A)與最深水深(H)之迴歸關係式，式(26)-(33)為水面寬(W)與最深水深(H)之迴歸關係式，式(34)-(41)為平均水深(D)與最深水深(H)之迴歸關係式，上述迴歸關係式中的 H 為橫斷面的最深水深(m)，A 為橫斷面的水流面積(m²)，W 為橫斷面的水面寬(m)，D 為平均水深(m)，即水流面積除以水面寬(A/W)。此 24 個迴歸式 r² 在 0.87 以上，相關性極高。

(2)不同公式推算泥砂啓動粒徑特性

根據式(11)-(14)可知計算泥砂啓動粒徑，必須有溪床平均流速、坡度、平均水深等資料，溪床坡度可由圖 2 獲得，平均水深可由式(34)-(41)獲得，平均流速由 Manning 公氏如下式(42)獲得，但是都必須要知道最深水深(H)的資料，才能計算。我們已由逕流曲線指數法暴雨流量推估模式，獲得不同頻率年 24 小時暴雨之洪峰流量，故可由洪峰流量(Q_p)等於 Manning 流速公式(V)與水流面積(A)相乘，如式(43)，反算最深水深(H)。

$$V = D^{2/3} S^{1/2} / n \quad (42)$$

$$Q_p = AD^{2/3} S^{1/2} / n \quad (43)$$

式(42)-式(43)中 V 為平均流速(m/s)，Q_p 為洪峰流量(cms)，D 為平均水深(m)，S 為坡度比降(無因次)，n 為 Manning 公氏粗糙係數

(無因次)。

將式(18)-(41)代入式(43)中，同時 Manning 公氏粗糙係數參考 Chow (1959)，採用 n=0.045，可獲得由洪峰流量(Q_p)(cms)與坡度比降(S)(無因次)來計算最深水深(H)(m)之關係式，如表 4。

茲將距離水文站最近的縱距離，19.6m 處之橫斷面編號 1，坡度比降為 0.0383，不同頻率年 24 小時暴雨之洪峰流量與 4 種泥砂啓動公式推算之最大泥砂啓動粒徑，如表 5 及圖 4。由表 5 及圖 4 之數據可知，Shields 臨界推移力法、Mavis & Laushey 溪床底部臨界流速法、Neill 平均臨界流速法及 Yang 平均臨界流速法等 4 種方法，推算最大泥砂啓動粒徑頗為接近。

2005 年 7 月 18 日海棠颱風挾帶雨量超過 700 mm 以上，約為 100 年頻率年暴雨量，颱風後調查水文站靜水池淤積的殘留泥砂粒徑，發現最大泥砂粒徑約 45 cm，由表 5 數據顯示 100 年頻率年洪峰流量時，距離最接近水文站橫斷面編號 1 處，4 種方法推算的最大泥砂啓動粒徑在 43.5-47.8 cm 間，證實 4 種方法頗為適用於中寮溪。

由式(11)-(14)的公式來看，Shields 係認為最大泥砂啓動粒徑與溪床底部單位面積的臨界推移力有關，但從計算推移力(τ)的方法而言， $\tau \cong \gamma DS$ ，實際上最大泥砂啓動粒徑(d)係與平均水深(D)及溪床坡度(S)相乘有關；Mavis & Laushey、Neill、Yang 等認為最大泥砂啓動粒徑與溪床底部臨界流速或平均流速有關，由於流速採用 Manning 公式(V)計算， $V = D^{2/3} S^{1/2} / n$ ，實際上最大泥砂啓動粒徑(d)

亦係與平均水深(D)及溪床坡度(S)相乘有關。因此，將 Manning 公式代入式(11)~(14)中，可獲得表 6 之關係式。由此觀之，以現有的實際計算式而言，此 4 種泥砂啟動公式應為相似的關係式，即最大泥砂啟動粒徑(d)係與平均水深(D)及溪床坡度(S)相乘的關係式，只不過它們的係數與常數不同。

(3)不同公式推算不同橫斷面的泥砂啟動粒徑空間變化特性

由表 6 之不同公式推算最大泥砂啟動粒徑，可知最大泥砂啟動粒徑受到溪床坡度與平均水深之影響；而表 3 之公式可知，平均水深與最深水深成正比；又表 4 之公式可知，最深水深與洪峰流量及坡度成正比；故最大泥砂啟動粒徑受到溪床坡度與洪峰流量之影響。現以中寮溪集水區推算 1 年與 100 年頻率年的洪峰流量，於 8 個不同橫斷面處，以 4 種泥砂啟動公式，推算最大泥砂啟動粒徑的變化，如表 7 與圖 5 及 6。

由表 7 與圖 5 及圖 6 的資料顯示，8 個不同橫斷面坡度差異甚大，1 年與 100 年頻率年的洪峰流量，產生的平均水深亦各自不同。最大泥砂啟動粒徑與坡度均成正比，亦與平均水深均成正比。唯 1 年與 100 年頻率年的洪峰流量造成最大泥砂啟動粒徑，4 種方法間之差異程度，如與不同橫斷面間的差異程度相比，方法間之差異程度甚小，而不同橫斷面間的差異程度甚大，換言之，不同橫斷面間泥砂啟動粒徑的空間變化極大。至於泥砂啟動粒徑的空間變化特性，主要受到溪床坡度與平均水深的影響，泥砂啟動粒徑與溪床坡度及平均水深成正比關係。由表 7 與圖 5 及圖 6 可知，橫斷面編號 8 與 7 處相比，橫

斷面編號 8，坡度較緩，平均水深較深，但平均水深的影響程度大於坡度，故橫斷面編號 8 處的泥砂啟動粒徑比橫斷面編號 7 處大；橫斷面編號 1 與 2 處相比，橫斷面編號 1，坡度較陡，平均水深較淺，但坡度的影響程度大於平均水深的影響程度，故橫斷面編號 1 處的泥砂啟動粒徑比橫斷面編號 2 處大；然橫斷面編號 3 與 4 處相比，橫斷面編號 4，坡度較陡，平均水深較小，由於坡度間差異甚小，泥砂啟動推算方法的不同，造成坡度與平均水深的影響程度，熟輕熟重不確定，故橫斷面編號 3 處與 4 處，不同泥砂啟動推算方法，其泥砂啟動粒徑相比，參差不一致。

另外，以 4 種方法最大泥砂啟動粒徑推算平均值為基準，定為 100%，1 年及 100 年頻率年洪峰流量，將不同溪床斷面時各種方法推算之最大泥砂啟動粒徑%，列表於表 8 及圖 7 與 8。可知 1 年與 100 年頻率年洪峰流量時，不同溪床斷面時各種方法推算之最大泥砂啟動粒徑，與 4 種方法最大泥砂啟動粒徑推算平均值相比，差異約-16.5%至 26.5%間。且以 Shields 與 Yang 表現較佳，差異約 -10%至 10%間。

再者；以溪床斷面編號 2 最大泥砂啟動粒徑推算值為基準，定為 100%，1 年及 100 年頻率年洪峰流量，將不同溪床斷面時各種方法推算之最大泥砂啟動粒徑%，列表於表 9 及圖 9 與 10。可知不同溪床斷面各種方法推算之最大泥砂啟動粒徑相比，斷面與斷面間差異頗大，約 4 倍至 7 倍間，且以 Neill 差異最大，約 6 倍至 7 倍間。

(4)中寮溪推算泥砂啟動粒徑的空間變化

茲將中寮溪 8 個橫斷面，不同頻率年 24 小時暴雨之洪峰流量與 4 種泥砂啓動公式推算之最大泥砂啓動粒徑，如表 10。由表 10 之數據可知，Shields 臨界推移力法、Mavis & Laushey 溪床底部臨界流速法、Neill 平均臨界流速法及 Yang 平均臨界流速法等 4 種方法，方法與方法間，推算最大泥砂啓動粒徑頗為接近，但斷面與斷面間，推算最大泥砂啓動粒徑空間變化頗大。

結 論

以 4 種現有不同河床質泥砂啓動推估式，推算中寮溪不同頻率年洪峰流量可能移動之最大泥砂粒徑空間變化。各斷面的泥砂啓動推估，Shields 臨界推移力法、Mavis & Laushey 溪床底部臨界流速法、Neill 平均臨界流速法及 Yang 平均臨界流速法等 4 種推算最大泥砂啓動粒徑，頗為接近，方法間差異僅約-16.5%至 26.5%間。但斷面與斷面間的泥砂啓動推估空間變化，相異達 5-7 倍。至於泥砂啓動粒徑的空間變化特性，主要受到溪床坡度與平均水深的影響，泥砂啓動粒徑與溪床坡度及平均水深成正比關係。

根據 Shields、Mavis & Laushey、Neill、Yang 等 4 種方法計算之平均最大泥砂啓動粒徑，獲悉中寮溪集水區頻率年：1、2.33、5、10、20、25、50、100 年；洪峰流量：41.4 cms、49.5 cms、60.1 cms、70.1 cms、81.4 cms、85.4 cms、98.8 cms、114.0 cms；8 個斷面的最大泥砂啓動粒徑空間變化範圍：17.3-93.9 cm、19.5-103.0 cm、22.2-114.0 cm、24.5-123.4 cm、27.1-133.4 cm、28.0-136.8 cm、30.8-147.6 cm、33.9-159.0 cm。

謝 誌

本研究承行政院農業委員會 96 農科-7.2.1-森-G2 計畫經費提供，傅鶴翹、黃榮俊、王德華、邱之偉先生協助，謹此致謝。林業試驗所報告登記第 498 號。

參 考 文 獻

1. 陳在中 (1998) 「水砂運動基礎之研究與應用」，國立中興大學水土保持學研究所博士論文，214p。
2. 黃正良 (1985) 「台灣森林試驗集水區最大逕流量推估式之初步研究」，國立台灣大學森林學研究所碩士論文，73p。
3. 鄭皆達、林莉莉 (1992) 「台灣上游集水區洪峰流量的產生和計算方法之研究」，中華水土保持學報23(2): 29-39。
4. 盧惠生 (1988) 「烏山頭水庫集水區洪峰流量分析」，中華水土保持學報19(1): 28-39。
5. 盧惠生、周玉奇、黃良鑫、林壯沛、林介龍 (2004) 「扇平地區不同降雨延時之設計雨型歷線」，坡地防災學報 3(1): 39-58。
6. 盧惠生、林壯沛、黃良鑫、林介龍 (2006) 「應用設計雨型歷線推估中寮溪集水區暴雨流量歷線」，坡地防災學報 5(1): 1-14。
7. 盧惠生、林壯沛、黃良鑫、林介龍、王秋嫻 (2007) 「六龜試驗林中寮溪泥砂啓動推估」，坡地防災學報 6(1): 1-18。
8. Chow, V. T. (1959) "Open-Channel Hydraulics", McGraw-Hill, New York. pp.109-113.
9. Graf, W. H. (1984) "Hydraulics of sediment transport", Water Resources Publications, BookCrafters, Inc., Chelsea, Michigan. pp.83-122.

10. Mavis, F. T., and L. M. Laushey (1948) "A reappraisal of the beginning of bed movement-competent velocity", *Intern. Assoc. Res.*, 2d Meeting, Stockholm.
11. Neill, C. R. (1967) "Mean velocity criterion for scour of coarse uniform bed-material", *Intern. Assoc. Hydr. Res.* 12th Congress, Fort Collins.
12. Overton, D. E. and M. E. Meadows (1976) "Stormwater Modeling", Academic Press, New York, 358p.
13. Ponce V. M. and R. H. Hawkins (1996) "Runoff curve number: has it reached maturity?" *Journal of Hydrology Engineering* 1(1):11-19.
14. Steenhuis T. S., M. Winchell, J. Rossing, J. A. Zollweg and M. F. Walter (1995) "SCS runoff equation revisited for variable-source runoff areas", *Journal of Irrigation & Drainage Engineering*, 121(3):234-38.
15. Vanoni, V. A., (1964) "Measurements of critical shear stress", *Calif. Inst. Tech., Rep.* No. KH-R-7.
16. Vanoni, V. A. (1975) "Sedimentation Engineering", *ASCE Task Committee for the Preparation of the Manual on the Sedimentation of the Sedimentation Committee of the Hydraulics Division.*
17. Yang, C. T. (1973) "Incipient motion and sediment transport", *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, vol.99, no. HY10, Proceedings Paper 10067, pp.1679-1704.
18. Yang, C. T. (1996) "Sediment transport: theory and practices", McGraw-Hill, New York. pp.19-50.

97 年 01 月 10 日 收稿

97 年 01 月 22 日 修改

97 年 01 月 30 日 接受

表 1. 中寮溪集水區不同頻率年 24 小時暴雨量推估之暴雨流量歷線特性

Table 1 . The characteristics of estimated stormflow hydrographs under 24-hour rainfall of different recurrence years at Chungliao creek watershed

頻率年(年)	1	2.33	5	10	20	25	50	100
暴雨量(mm)	307.3	360.9	417.2	475.9	542.9	566.4	646.2	737.1
推估暴雨流量(mm)	206.7	256.7	310.1	366.3	431.8	453.9	531.7	620.9
推估暴雨流量率(%)	67.3	71.1	74.3	77.0	79.4	80.1	82.3	84.2
推估洪峰流量(cms)	41.4	49.5	60.1	70.1	81.4	85.4	98.8	114.0
推估洪峰比流量(cms/km ²)	5.7	7.0	8.3	9.7	11.3	11.8	13.7	15.8

表 2. 不同溪床斷面距水文站距離與坡度比降

Table 2 . Slope gradients and distances of eight cross sections from hydrologic station of Chungliao creek

橫斷面編號	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8
距離水文站(m)	19.6	42.3	62.8	97.8	115.8	160.8	182.8	190.8
坡度比降	0.0383	0.0247	0.0415	0.0451	0.0567	0.0864	0.1986	0.1737

表3. 中寮溪8個橫斷面之水流面積(A)、水面寬(W)、平均水深(D)與最深水深(H)間迴歸關係式

Table 3 . Nonlinear regression equations of cross section area (A), width (W), average depth (D) on maximum water depth (H) for eight cross sections of Chungliao creek

橫斷面編號	迴歸關係式	r^2	N
No.1	18. $A = 9.8 H^{1.68}$	0.99	20
No.2	19. $A = 8.04 H^{1.78}$	0.99	23
No.3	20. $A = 7.78 H^{1.62}$	0.99	23
No.4	21. $A = 8.47 H^{1.67}$	0.99	23
No.5	22. $A = 8.67 H^{1.70}$	0.99	23
No.6	23. $A = 6.17 H^{1.92}$	0.99	23
No.7	24. $A = 10.69 H^{1.78}$	0.99	15
No.8	25. $A = 6.60 H^{1.76}$	0.99	18
No.1	26. $W = 16.12 H^{0.62}$	0.94	20
No.2	27. $W = 14.36 H^{0.66}$	0.87	23
No.3	28. $W = 12.66 H^{0.54}$	0.93	23
No.4	29. $W = 14.14 H^{0.63}$	0.97	23
No.5	30. $W = 14.88 H^{0.68}$	0.97	23
No.6	31. $W = 12.17 H^{0.75}$	0.89	23
No.7	32. $W = 18.26 H^{0.69}$	0.94	15
No.8	33. $W = 11.73 H^{0.80}$	0.97	18
No.1	34. $D = 0.57 H^{1.26}$	0.99	20
No.2	35. $D = 0.48 H^{1.42}$	0.99	23
No.3	36. $D = 0.565 H^{1.26}$	0.99	23
No.4	37. $D = 0.57 H^{1.14}$	0.99	23
No.5	38. $D = 0.58 H^{1.05}$	0.98	23
No.6	39. $D = 0.42 H^{1.54}$	0.99	23
No.7	40. $D = 0.58 H^{1.22}$	0.98	15
No.8	41. $D = 0.56 H^{0.98}$	0.98	18

表4. 中寮溪8個橫斷面之最深水深(H)與洪峰流量及溪床比降間關係式

Table 4. Equations of maximum water depth (H) on peak flow (Q_p) and slope gradient (S) for eight cross sections of Chungliao creek

橫斷面編號	關係式
No.1	44. $H = 0.1376 Q_p^{0.39617} S^{-0.19808}$
No.2	45. $H = 0.1793 Q_p^{0.36611} S^{-0.18306}$
No.3	46. $H = 0.1443 Q_p^{0.4058} S^{-0.20291}$
No.4	47. $H = 0.1357 Q_p^{0.4109} S^{-0.20544}$
No.5	48. $H = 0.1304 Q_p^{0.4161} S^{-0.20803}$
No.6	49. $H = 0.2299 Q_p^{0.3388} S^{-0.1694}$
No.7	50. $H = 0.1401 Q_p^{0.3850} S^{-0.1925}$
No.8	51. $H = 0.1491 Q_p^{0.4138} S^{-0.2069}$

表5. 中寮溪橫斷面1處，不同頻率年之洪峰流量與各種方法推算之最大泥砂啓動粒徑

Table 5. Maximum potential particle sizes of incipient motion with different estimated methods and peak flows for different recurrence years at cross section no.1 of Chungliao creek

頻率年(y)	洪峰流量(cms)	Shields計算粒徑d(cm)	Mavis ⁽¹⁾ 計算粒徑d(cm)	Neill計算粒徑d(cm)	Yang計算粒徑d(cm)	4種方法 ⁽²⁾ 之平均粒徑d(cm)
1	41.4	26.2	22.9	22.2	24.3	23.9
2.33	49.5	28.7	25.8	25.2	27.3	26.8
5	60.1	31.6	29.4	29.0	31.1	30.3
10	70.1	34.1	32.6	32.3	34.5	33.4
20	81.4	36.8	36.0	36.0	38.1	36.7
25	85.4	37.7	37.2	37.2	39.4	37.9
50	98.8	40.5	41.0	41.3	43.4	41.5
100	114	43.5	45.1	45.7	47.8	45.5

(1)Mavis為Mavis & Laushey的縮寫。

(2)4種方法為Shields, Mavis & Laushey, Neill, Yang等4方法。

表6. 各種泥砂啓動公式的粒徑與水深及坡度關係

Table 6 . The relations among particle sizes of incipient motion, water depths and slope gradients for different estimated methods

泥砂啓動推估法	關係式 ⁽²⁾
Shields	$d = 10.1DS$
Mavis ⁽¹⁾	$d = 10.07D^{1.34}S$
Neill	$d = 22.82D^{1.425}S^{1.25}$
Yang	$d = 10.66D^{1.34}S$

(1)Mavis爲Mavis & Laushey的縮寫。

(2)d爲泥砂粒徑(m)，D爲平均水深(m)，S爲溪床比降(無因次)

表 7. 1 年及 100 年頻率年洪峰流量於不同溪床斷面時各種方法推算之最大泥砂啓動粒徑

Table 7 . Maximum potential particle sizes of incipient motion with different estimated methods on different cross sections for peak flows of 1 and 100 recurrence years

橫斷 面編 號	坡度 %	最大泥砂啓動粒徑(cm)											
		1 年頻率年						100 年頻率年					
		D(m) ⁽¹⁾	Shields	Mavis ⁽²⁾	Neill	Yang	Ave. ⁽³⁾	D(m) ⁽¹⁾	Shields	Mavis ⁽²⁾	Neill	Yang	Ave. ⁽³⁾
No.1	3.83	0.68	26.2	22.9	22.2	24.3	23.9	1.12	43.5	45.1	45.7	47.8	45.5
No.2	2.47	0.76	18.9	17.2	15.1	18.2	17.3	1.28	32.0	34.8	31.9	36.8	33.9
No.3	4.15	0.75	31.3	28.2	28.2	29.9	29.4	1.25	52.5	56.5	58.9	59.8	56.9
No.4	4.51	0.69	31.5	27.7	28.0	29.3	29.1	1.11	50.6	52.3	55.1	55.4	53.3
No.5	5.67	0.65	37.3	32.1	34.2	34.0	34.4	1.01	58.0	58.1	64.3	61.5	60.4
No.6	8.64	0.58	50.4	41.6	48.8	44.1	46.2	0.98	85.4	84.5	103.7	89.5	90.8
No.7	19.86	0.44	88.9	67.2	94.8	71.1	80.5	0.71	143.0	127.1	186.8	134.6	147.9
No.8	17.37	0.56	98.2	80.4	112.0	85.1	93.9	0.84	148.1	139.4	201.0	147.6	159.0

(1)D(m)爲平均水深(m)。

(2)Mavis爲Mavis & Laushey的縮寫。

(3)Ave.爲Shields, Mavis & Laushey , Neill, Yang等4種方法最大泥砂啓動粒徑的平均值。

表 8. 以平均最大泥砂啓動粒徑推算爲基準，1 年及 100 年頻率年洪峰流量於不同溪床斷面時各種方法推算之最大泥砂啓動粒徑%

Table 8. Based on maximum potential particle size of average estimated methods, maximum potential particle sizes (%) of incipient motion with different estimated methods on different cross sections for peak flows of 1 and 100 recurrence years

橫斷面 編號	坡度%	最大泥砂啓動粒徑(%) ⁽¹⁾											
		1 年頻率年						100 年頻率年					
		D(m) ⁽²⁾	Shields	Mavis ⁽³⁾	Neill	Yang	Ave. ⁽⁴⁾	D(m) ⁽²⁾	Shields	Mavis ⁽³⁾	Neill	Yang	Ave. ⁽⁴⁾
No.1	3.83	0.68	109.7	95.9	93.0	101.5	100.0	1.12	95.5	99.1	100.4	104.9	100.0
No.2	2.47	0.76	109.2	99.1	86.9	104.9	100.0	1.28	94.6	102.6	94.2	108.6	100.0
No.3	4.15	0.75	106.4	96.1	95.8	101.7	100.0	1.25	92.2	99.3	103.5	105.1	100.0
No.4	4.51	0.69	108.1	95.1	96.2	100.6	100.0	1.11	94.9	98.0	103.3	103.8	100.0
No.5	5.67	0.65	108.4	93.3	99.5	98.8	100.0	1.01	95.9	96.1	106.3	101.7	100.0
No.6	8.64	0.58	108.9	90.1	105.6	95.4	100.0	0.98	94.1	93.1	114.2	98.6	100.0
No.7	19.86	0.44	110.4	83.5	117.8	88.3	100.0	0.71	96.7	86.0	126.3	91.0	100.0
No.8	17.37	0.56	104.6	85.6	119.2	90.6	100.0	0.84	93.1	87.7	126.4	92.8	100.0

(1)最大泥砂啓動粒徑(%): 將各種方法的最大泥砂啓動粒徑，除以4種方法最大泥砂啓動粒徑的平均值，再乘以100%。

(2)D(m)爲平均水深(m)

(3)Mavis爲Mavis & Laushey的縮寫。

(4)Ave.爲Shields, Mavis & Laushey, Neill, Yang等4種方法最大泥砂啓動粒徑的平均值。

表 9. 以溪床斷面 2 號的最大泥砂啓動粒徑推算爲基準，1 年及 100 年頻率年洪峰流量於不同溪床斷面時各種方法推算之最大泥砂啓動粒徑%

Table 9. Based on maximum potential particle size of cross section no.2, maximum potential particle sizes (%) of incipient motion with different estimated methods on different cross sections for peak flows of 1 and 100 recurrence years

橫斷面 編號	坡度%	最大泥砂啓動粒徑(%) ⁽¹⁾											
		1 年頻率年						100 年頻率年					
		D(m) ⁽²⁾	Shields	Mavis ⁽³⁾	Neill	Yang	Ave. ⁽⁴⁾	D(m) ⁽²⁾	Shields	Mavis ⁽³⁾	Neill	Yang	Ave. ⁽⁴⁾
No.1	3.83	0.68	138.7	133.5	147.6	133.5	138.0	1.12	135.8	129.8	143.2	129.8	134.4
No.2	2.47	0.76	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	1.28	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
No.3	4.15	0.75	165.3	164.4	187.0	164.4	169.6	1.25	163.9	162.5	184.7	162.5	168.1
No.4	4.51	0.69	166.5	161.3	186.1	161.3	168.1	1.11	158.0	150.4	172.8	150.4	157.5
No.5	5.67	0.65	196.9	186.9	227.1	186.9	198.4	1.01	181.1	167.0	201.5	167.0	178.4
No.6	8.64	0.58	266.2	242.6	324.1	242.6	266.7	0.98	266.7	243.2	325.0	243.2	268.0
No.7	19.86	0.44	469.9	391.4	629.7	391.4	464.6	0.71	446.6	365.6	585.7	365.6	436.6
No.8	17.37	0.56	519.3	468.4	743.4	468.4	542.0	0.84	462.5	401.1	630.2	401.1	469.5

(1)最大泥砂啓動粒徑(%): 將各種方法及各橫斷面編號的最大泥砂啓動粒徑，除以橫斷面編號2的最大泥砂啓動粒徑，再乘以100%。

(2)D(m)爲平均水深(m)。

(3)Mavis爲Mavis & Laushey的縮寫。

(4)Ave.爲Shields, Mavis & Laushey, Neill, Yang等4種方法的平均值。

表10. 中寮溪8個橫斷面，不同頻率年之洪峰流量與各種方法推算之最大泥砂啓動粒徑空間變化範圍

Table 10. Spatial variation ranges of maximum potential particle sizes of incipient motion with different estimated methods and peak flows for different recurrence years at eight cross sections of Chungliao creek

頻率年(y)	洪峰流量(cms)	Shields計算粒徑d(cm)	Mavis ²⁾ 計算粒徑d(cm)	Neill計算粒徑d(cm)	Yang計算粒徑d(cm)	4種方法 ³⁾ 之平均粒徑d(cm)
1	41.4	18.9-98.2	17.2-80.4	15.1-112.0	18.2-85.1	17.3-93.9
2.33	49.5	20.8-105.6	19.4-88.6	17.2-124.1	20.6-93.8	19.5-103.0
5	60.1	23.0-114.3	22.3-98.5	19.9-138.9	23.6-104.2	22.2-114.0
10	70.1	24.9-121.6	24.8-107.1	22.2-151.8	26.2-113.3	24.5-123.4
20	81.4	26.9-129.2	27.5-116.1	24.9-165.5	29.1-122.9	27.1-133.4
25	85.4	27.6-131.8	28.4-119.2	25.8-170.1	30.1-126.1	28.0-136.8
50	98.8	29.7-139.8	31.5-129.0	28.7-185.1	33.3-136.5	30.8-147.6
100	114	32.0-148.1	34.8-139.4	31.9-201.0	36.8-147.6	33.9-159.0

(1)表中各粒徑值為8個橫斷面的空間變化範圍。

(2)Mavis為Mavis & Laushey的縮寫。

(3)Ave為Shields, Mavis & Laushey, Neill, Yang等4種方法的平均值。

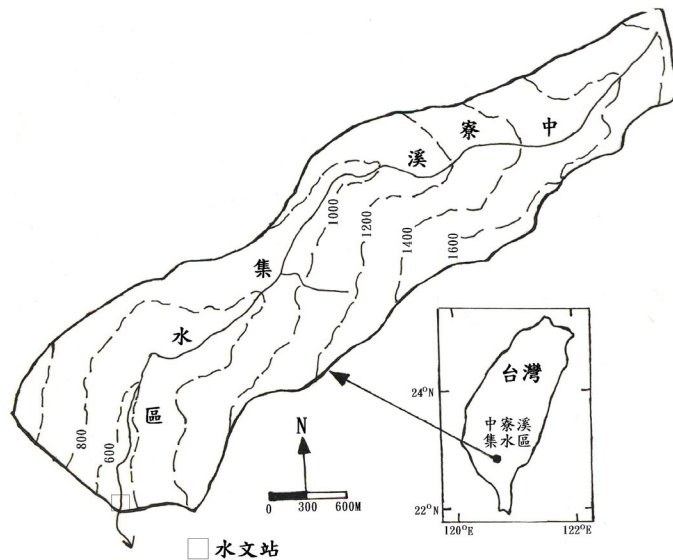


圖 1. 中寮溪集水區地形圖

Figure 1. Topography of Chungliao creek watershed.

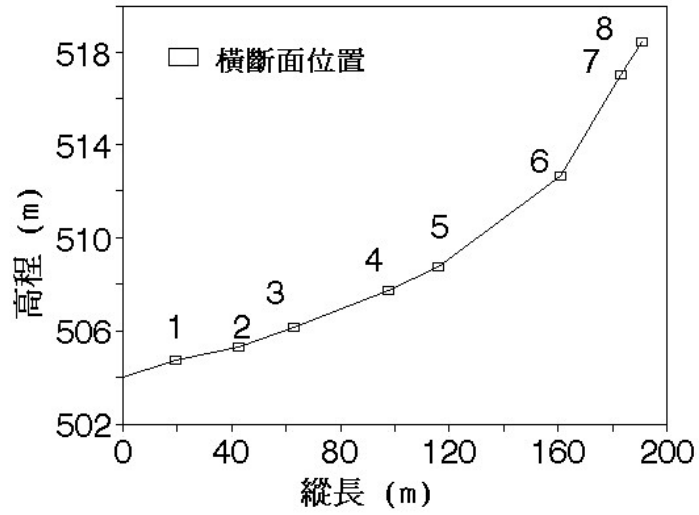
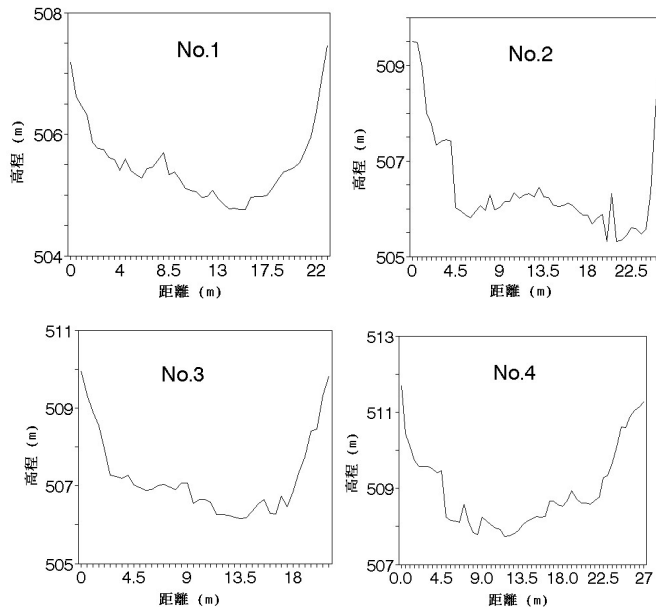


圖 2. 中寮溪 8 個橫斷面位置及縱斷面變化

Figure 2. Locations of eight cross sections at longitudinal profile of Chungliao creek.



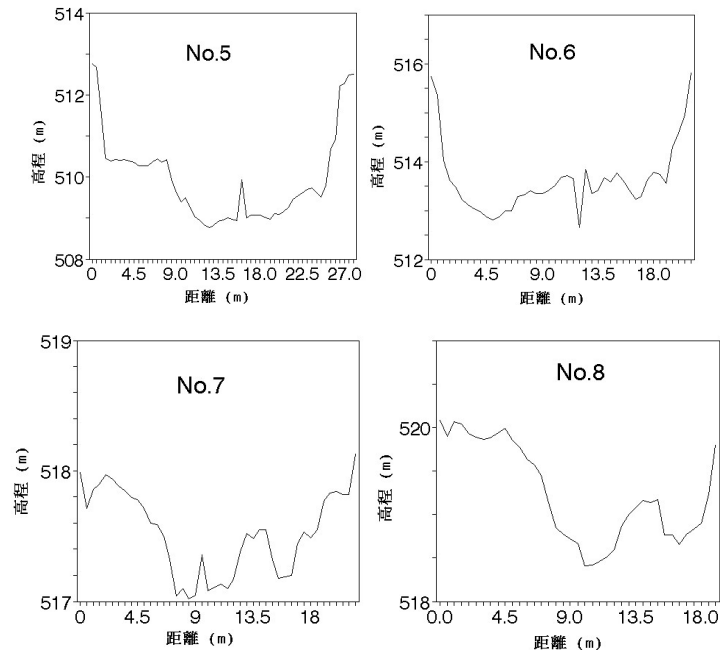


圖 3. 中寮溪 8 個橫斷面形狀
Figure 3. Eight cross section profiles of Chungliao creek.

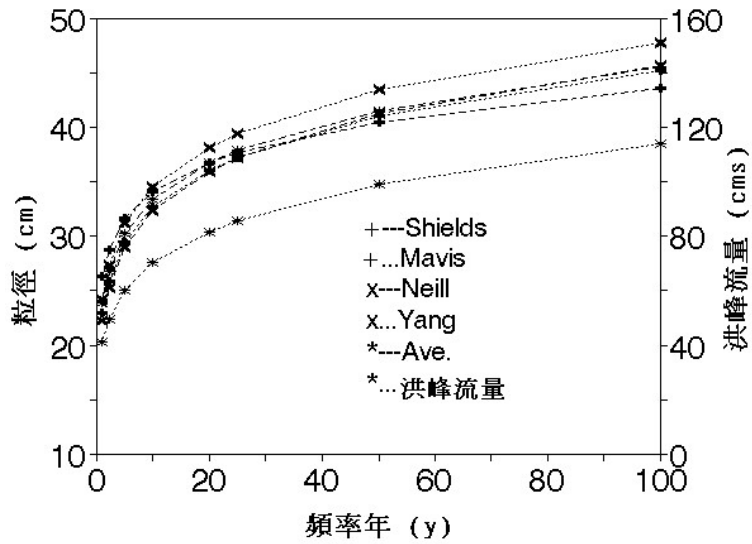


圖 4. 中寮溪橫斷面 1 處，不同頻率年之洪峰流量與各種方法推算之最大泥砂啟動粒徑
Figure 4. Maximum potential particle sizes of incipient motion with different estimated methods and peak flows for different recurrence years at cross section no.1 of Chungliao creek.

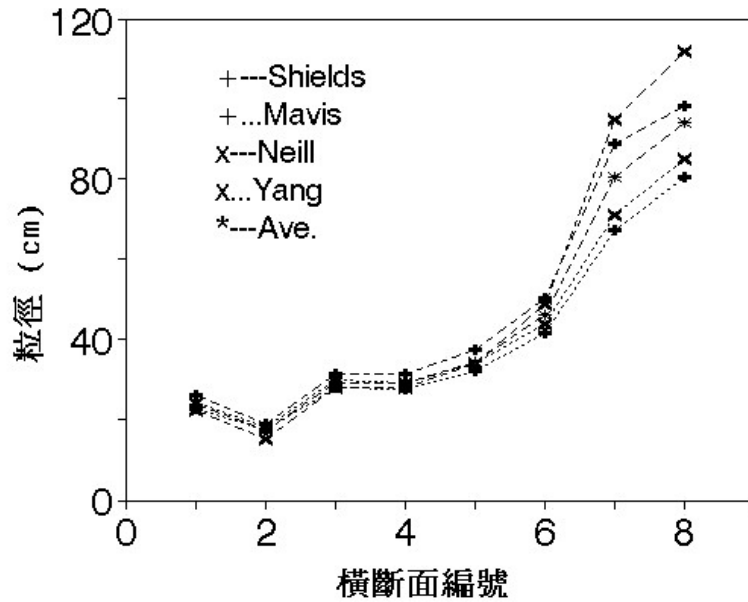


圖 5. 1 年頻率年洪峰流量於不同溪床斷面時各種方法推算之最大泥砂啓動粒徑

Figure 5. Maximum potential particle sizes of incipient motion with different estimated methods on different cross sections for peak flows of 1 recurrence year.

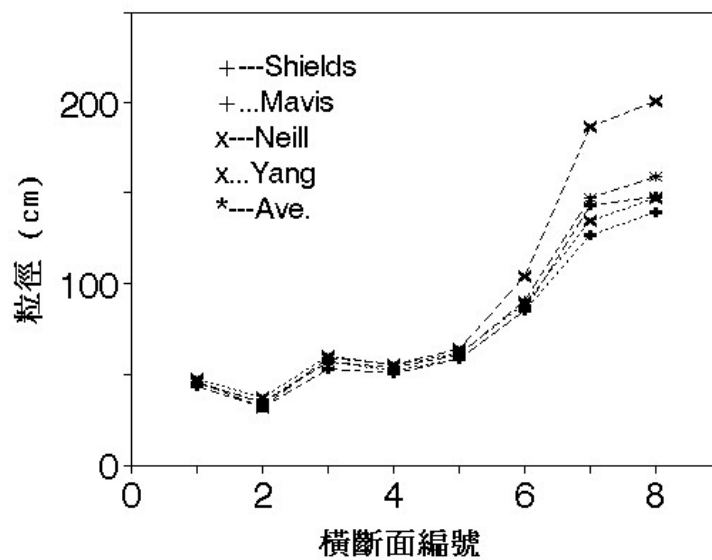


圖 6. 100 年頻率年洪峰流量於不同溪床斷面時各種方法推算之最大泥砂啓動粒徑

Figure 6. Maximum potential particle sizes of incipient motion with different estimated methods on different cross sections for peak flows of 100 recurrence years.

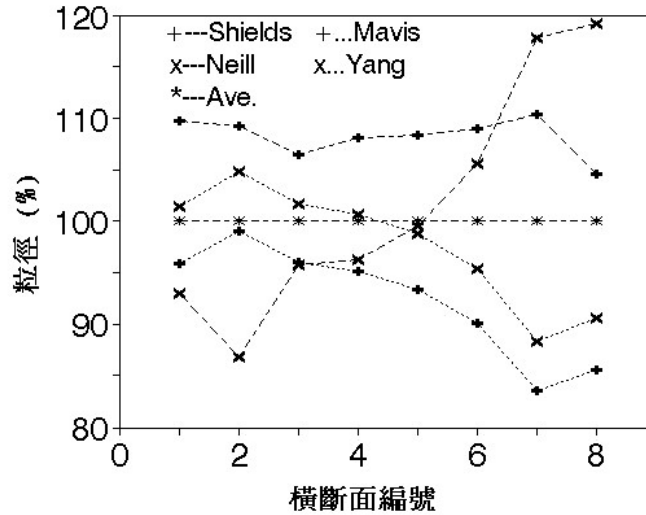


圖 7. 以平均最大泥砂啓動粒徑推算為基準，1 年頻率年洪峰流量於不同溪床斷面時各種方法推算之最大泥砂啓動粒徑%

Figure 7. Based on maximum potential particle size of average estimated methods, maximum potential particle sizes (%) of incipient motion with different estimated methods on different cross sections for peak flows of 1 recurrence year.

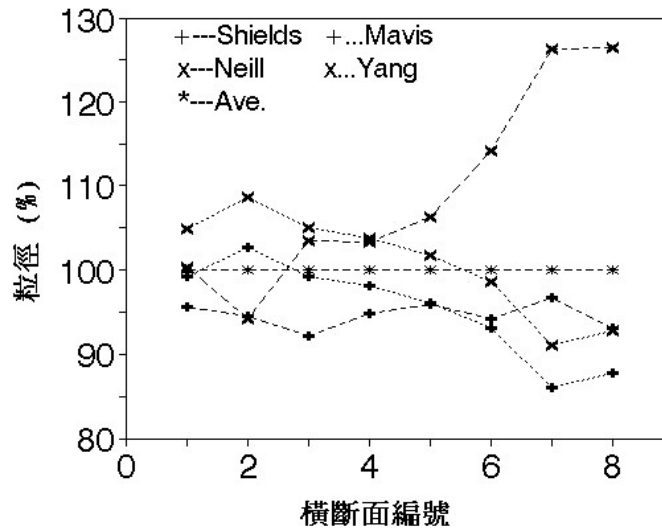


圖 8. 以平均最大泥砂啓動粒徑推算為基準，100 年頻率年洪峰流量於不同溪床斷面時各種方法推算之最大泥砂啓動粒徑%

Fig. 8. Based on maximum potential particle size of average estimated methods, maximum potential particle sizes (%) of incipient motion with different estimated methods on different cross sections for peak flows of 100 recurrence years.

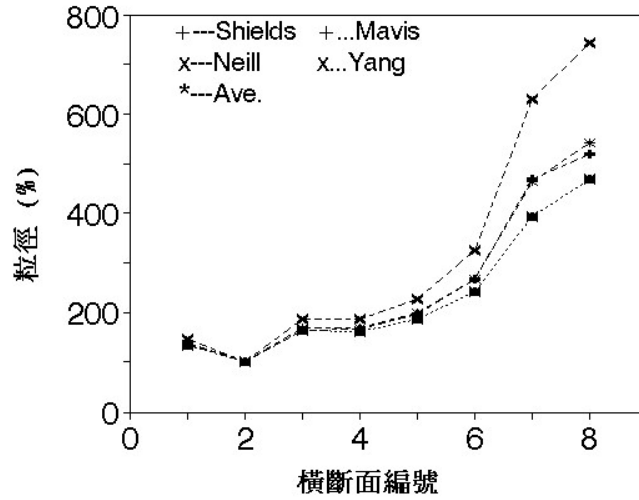


圖 9. 以溪床斷面 2 號的最大泥砂啓動粒徑推算為基準，1 年頻率年洪峰流量於不同溪床斷面時各種方法推算之最大泥砂啓動粒徑%

Fig.9. Based on maximum potential particle size of cross section no.2, maximum potential particle sizes (%) of incipient motion with different estimated methods on different cross sections for peak flows of 1 recurrence year.

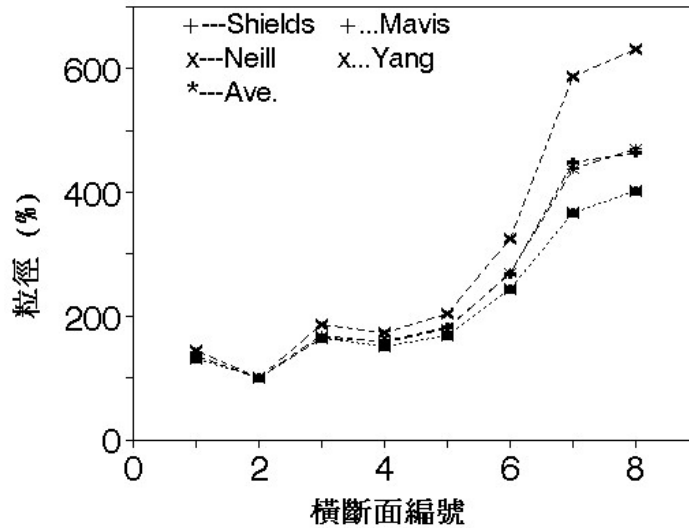


圖 10. 以溪床斷面 2 號的最大泥砂啓動粒徑推算為基準，100 年頻率年洪峰流量於不同溪床斷面時各種方法推算之最大泥砂啓動粒徑%

Fig.10. Based on maximum potential particle size of cross section no.2, maximum potential particle sizes (%) of incipient motion with different estimated methods on different cross sections for peak flows of 100 recurrence years.