農業部農村發展及水土保持署
與您一起打拼

農業部農村發展及水土保持署
540206南投市中興新村光華路6號
https://www.ardswc.gov.tw

不同土石流流況對於跨溪構造物斷面影響之定床實驗研究 成果報告書 113 年度 農業部農村發展及水土保持署

ARDSWC-113-097

不同土石流流況對於跨溪構造物斷面影響之定床實驗研究

成果報告書



農業部農村發展及水土保持署 編印
中華民國113年12月


農業部農村發展及水土保持署
Agency of Rural Development & Soil and Water Conservation, MOA

計畫編號：ARDSWC-113-097

不同土石流流況對於跨溪構造物斷面影響之定床實驗研究

Fixed-bed experimental study on the effect of different debris flow conditions for cross-sections of cross-river structures

執 行 單 位：國立屏東科技大學

執 行 期 間：113 年 02 月 07 日至 113 年 12 月 31 日

計畫主持人 ：陳昆廷 助理教授

農業部農村發展及水土保持署　編印

中華民國 113 年 12 月

（本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本署施政參考）


農業部農村發展及水土保持署
Agency of Rural Development & Soil and Water Conservation, MOA

不同土石流流況對於跨溪構造物斷面影響之定床實驗研究

摘要

台灣地區目前有 1,731 條土石流潛勢溪流，其中許多溪流與山區道路橋梁等跨溪構造物綜橫交錯，大多位於土石流流動段與堆積段，依統計結果顯示(113 年度)，有 298 處之土石流潛勢溪流影響範圍涉及鐵、公路(省道)。目前相關單位在設計跨溪構造物時，通洪斷面設計皆以清水流之洪峰流量(Qp)，並以試誤法求出斷面尺寸及溢流水深。若是設置在土石流區段，則須再計算土石流設計洪峰量(Q_D)。而依據水土保持技術規範(2023)第 65 條第二款之規定，排洪斷面除出水高外，尚應考量洪水所挾帶泥砂、漂流木而加大其斷面百分之十至百分之五十，並無明確量化依據參考，因此土石流溪流之跨溪構造物通洪斷面之設計準則，在使用上仍有其限制。本研究計畫 113 年度原規劃完成：1.土石流溢淹影響因素分析、2.土石流理論計算、3.不同土石流流況之定床室內實驗、4.土石流流動段與堆積段實驗結果分析等四個工作項目，礙於土石流室內實驗場地為開放空間，受到多場降雨與颱風影響，在實驗渠道設置、安裝、測試之期程有所延宕，致使實驗進度無法如期完成，因此本計畫將原規劃之第三年度工作項目

「蒐集相關土石流潛勢溪流跨溪構造物之實際案例」提前至 113 年度進行資料蒐集與現地調查，包括凱米颱風、山陀兒颱風等 13 個土石流災害案例，並將定床室內實驗調整至第二年度(114 年)與動床實驗一併完成。

由土石流災害案例調查結果可知，不論是在土石流流動區或堆積區，既有跨溪構造物通洪斷面皆有不足之情況，特別是當流動區通洪斷面不足時，對於下游危害影響更為加劇，屏縣 DF003、屏縣 T113-3、東縣 DF111、東縣 DF125 皆屬此災害特性。且由跨溪構造物與土石流淤積厚度之調查結果可知，在土石流堆積區之淤深比最大差距可到 4 倍，而在土石流流動區則為 1~2 倍。此結果將可提供本研究在後續室內實驗設計之參考依據。

關鍵詞：土石流、跨溪構造物、土石流實驗

Fixed-bed experimental study on the effect of different debris flow conditions for cross-sections of cross-river structures

ABSTRACT

Currently, there are 1,731 potential debris flow torrents in Taiwan, many of which intersect with mountain roads, bridges, and other cross-river structures, most of which are located in the flow and deposition sections of debris flows. According to statistical data (2014), the impact areas of 298 potential debris flow torrents involve railways and highways (provincial roads). When designing cross-river structures, relevant authorities use the peak discharge (Qp) of water for the cross-section design, and determine the section dimensions and overflow depth through a trial-and-error method. If the structure is located in a debris flow area, the design peak discharge for debris flow (Q_D) must also be calculated. According to the regulations, in addition to the discharge height, the cross-section must also account for the mud, sand, and floating debris carried by the flood, which increases the cross-section by 10% to 50%. However, there is no clear, quantifiable reference for this adjustment. Therefore, the design guidelines for cross-river structures in potential debris flow torrents still have limitations in their application. The investigation of this year's debris flow disaster cases reveals that, whether in the debris flow flow area or deposition area, the existing cross-river structures' cross-sections are insufficient. This is especially true when the cross-section in the flow area is inadequate, which exacerbates the

downstream impact and hazards. According to field investigations, these potential debris flow torrents (Pingtung County DF003, Pingtung County T113-3, Taitung County DF111, Taitung County DF125) all belong to this type of disaster characteristic. Furthermore, the investigation of cross-sections structures and the sedimentation thickness of debris flow shows that the sediment depth in the debris flow deposition area can vary by up to 4 times, while in the flow area, it ranges from 1 to 2 times. These results will provide a reference for the design of subsequent indoor debris flow experiments in this study.

Keywords: debirs flow, cross-river structures, laboratory experiment of debirs flow

農業部農村發展及水土保持署 Agency of Rural Development & Soil and Water Conservation, MOA

目次

摘要.....**I**

ABSTRACT.....**III**

目次.....**V**

表次.....**VII**

圖次.....**X**

第一章　緒論.....**1-1**

第一節　計畫緣起與目的.....1-1

第二節　計畫工作項目.....1-3

第三節　計畫執行架構與工作進度.....1-3

第二章　研究方法.....**2-1**

第一節　理論依據說明.....2-1

第二節　實驗儀器與設備說明.....2-7

第三節　實驗組數規劃.....2-12

第三章　土石流潛勢溪流跨溪構造物案例調查成果.....**3-1**

第一節　凱米颱風後土石流災害.....3-1

第二節　山陀兒颱風後土石流災害.....3-63

第三節　其他事件.....3-95

第四節　土石流潛勢溪流跨溪構造物案例調查成果探討.....3-102

第四章　結論與建議.....**4-1**

第一節　結論.....4-1

第二節　建議.....4-2

第三節　產出成果.....4-3

第四節　後續工作規劃.....4-4

參考文獻.....**參-1**

附錄一、計畫書審查意見暨回覆辦理情形 附錄-1
附錄二、期中報告審查意見暨回覆辦理情形 附錄-2
附錄三、期末報告審查意見暨回覆辦理情形 附錄-4
附錄四、2024 工程永續與土木防災研討會論文 附錄-5

農業部農村發展及水土保持署 Agency of Rural Development & Soil and Water Conservation, MOA

表次

表 2-1 篩分析計算表 2-13
表 2-2 實驗參數設定及組數 2-14
表 3-1 高市 DF050 土石流流量分析..... 3--6
表 3-2 高市 DF050 通洪斷面檢討.....3-6
表 3-3 高市 DF050 不同重現期距之清水流流量 3-6
表 3-4 高市 DF050 災害事件降雨資料分析.....3-6
表 3-5 高市 DF114 土石流流量分析.....3-14
表 3-6 流高市 DF114 通洪斷面檢討.....3-14
表 3-7 高市 DF114 不同重現期距之清水流流量.....3-14
表 3-8 高市 DF114 災害事件降雨資料分析.....3-14
表 3-9 投縣 DF206 土石流流量分析.....3-21
表 3-10 投縣 DF206 通洪斷面檢討.....3-22
表 3-11 DF206 不同重現期距之清水流流量 3-22
表 3-12 DF206 災害事件降雨資料分析.....3-22
表 3-13 投縣 DF185 土石流流量分析.....3-29
表 3-14 投縣 DF185 通洪斷面檢討.....3-29
表 3-15 投縣 DF185 不同重現期距之清水流流量 3-30
表 3-16 投縣 DF185 災害事件降雨資料分析 3-30
表 3-17 嘉縣 DF051 土石流流量分析.....3-37
表 3-18 嘉縣 DF051 通洪斷面檢討.....3-37
表 3-19 DF051 不同重現期距之清水流流量.....3-37
表 3-20 嘉縣 DF051 災害事件降雨資料分析 3-37
表 3-21 屏縣 DF003 與尾寮排水土石流流量分析 3-47
表 3-22 屏縣 DF003 與尾寮排水通洪斷面檢討 3-47

表 3-23 屏縣 DF003 不同重現期距之清水流流量 3-48
表 3-24 屏縣 DF003 災害事件降雨資料分析 3-48
表 3-25 屏縣 T113-3 土石流流量分析 3-54
表 3-26 屏縣 T113-3 土石流通洪斷面檢討 3-55
表 3-27 屏縣 T113-3 土石流不同重現期距之清水流量 3-55
表 3-28 屏縣 T113-3 土石流災害事件降雨資料分析 3-55
表 3-29 高市 E113-2 土石流流量分析 3-61
表 3-30 高市 E113-2 通洪斷面檢討 3-62
表 3-31 高市 E113-2 不同重現期距之清水流流量 3-62
表 3-32 高市 E113-2 災害事件降雨資料分析 3-62
表 3-33 東縣 DF059 不同重現期之清水流流量 3-69
表 3-34 東縣 DF059 土石流流量分析.....3-69
表 3-35 東縣 DF059 通洪斷面之檢討.....3-70
表 3-36 東縣 DF059 災害事件降雨資料分析 3-70
表 3-37 東縣 DF111 不同重現期之清水流流量.....3-78
表 3-38 東縣 DF111 土石流流量分析 3-78
表 3-39 東縣 DF111 通洪斷面之檢討 3-78
表 3-40 東縣 DF111 災害事件降雨資料分析 3-78
表 3-41 東縣 DF124 不同重現期之清水流流量 3-85
表 3-42 東縣 DF124 土石流流量分析.....3-85
表 3-43 東縣 DF124 通洪斷面之檢討.....3-85
表 3-44 東縣 DF124 災害事件降雨資料分析 3-86
表 3-45 東縣 DF125 不同重現期之清水流流量 3-94
表 3-46 東縣 DF125 土石流流量分析.....3-94
表 3-47 東縣 DF125 通洪斷面之檢討.....3-94

表 3-48 東縣 DF125 災害事件降雨資料分析 3-94
表 3-49 東縣 DF093 不同重現期距之清水流流量.....3-98
表 3-50 東縣 DF093 土石流流量分析.....3-98
表 3-51 東縣 DF093 通洪斷面檢討.....3-98
表 3-52 明霸克露橋通洪斷面檢討 3-101
表 3-53 跨溪構造物通洪斷面淤深比之結果 3-102
表 4-1 本研究產出成果列表 4-3

農業部農村發展及水土保持署 Agency of Rural Development & Soil and Water Conservation, MOA

圖次

圖 1-1 本研究整體研究流程圖 1-5

圖 1-2 計畫執行進度.....1-6

圖 2-1 土石流先端部泥砂體積濃度與溪床坡度之比較圖 2-2

圖 2-2 土石流流動深度與橋台示意圖 2-5

圖 2-3 土石流堆積深度與橋台示意圖 2-6

圖 2-4 本研究定床實驗流程圖 2-8

圖 2-5 本研究動床實驗流程圖 2-9

圖 2-6 系務會議申請場地並獲得同意.....2-9

圖 2-7 土石流實驗裝置架設區位.....2-10

圖 2-8 土石流實驗裝置架設區位施工情況.....2-11

圖 2-9 土石流試驗裝置圖(單位：MM).....2-11

圖 2-10 土石流級配示意圖 2-13

圖 2-11 富級配粒徑曲線分布圖.....2-13

圖 3-1 六津橋地理位置 3-1

圖 3-2 高市 DF050 潛勢溪流地質圖 3-2

圖 3-3 凱米颱風影響歷程及每日降雨分布 3-3

圖 3-4 大津(C1V340)凱米颱風歷史雨量組體圖(本研究繪製).....3-3

圖 3-5 六津橋上下游土石溢淹情況(2024 年 9 月 3 日) 3-4

圖 3-6 扇平林道 0K+140 過路箱涵地理位置.....3-7

圖 3-7 高市 DF114 潛勢溪流地質圖 3-8

圖 3-8 凱米颱風影響歷程及每日降雨分布 3-9

圖 3-9 高市 DF114 上游舊崩塌地位置(2024 年 9 月 28 日) 3-9

圖 3-10 高市 DF114 凱米颱風堆積範圍 3-10

圖 3-11 六龜(C0V800)凱米颱風歷史雨量組體圖(本研究繪製).....3-10

圖 3-12 扇平林道 0K+140 過路箱涵尺寸圖(2024 年 9 月 3 日).....3-11
圖 3-13 扇平林道 0K+140 過路箱涵上下游災後情況.....3-12
圖 3-14 投 95 線 4.3K 過路箱涵地理位置 3-15
圖 3-15 投縣 DF206 潛勢溪流地質圖 3-16
圖 3-16 凱米颱風影響歷程及每日降雨分布 3-17
圖 3-17 投縣 DF206 土石流潛勢溪流凱米颱風堆積範圍.....3-17
圖 3-18 望鄉山(C1I450)凱米颱風歷史雨量組體圖(本研究繪製) 3-18
圖 3-19 投 95 線 4.3K 過路箱涵災後上下游情況 (2024 年 9 月 4 日)3-20
圖 3-20 中平巷過路箱涵 DF185 地理位置圖 3-23
圖 3-21 投縣 DF185 潛勢溪流地質圖 3-24
圖 3-22 投縣 DF185 土石流潛勢溪流上游舊崩塌地位置.....3-25
圖 3-23 投縣 DF185 土石流潛勢溪流凱米颱風堆積範圍.....3-25
圖 3-24 信義(C0I080)凱米颱風歷史雨量組體圖(本研究繪製) 3-26
圖 3-25 中平巷過路箱涵尺寸圖(2024 年 9 月 4 日).....3-26
圖 3-26 中平巷過路箱涵上中下游土石流堆積現況 3-28
圖 3-27 嘉縣 141 縣道 10K+250 過路箱涵地理位置.....3-31
圖 3-28 嘉縣 DF051 潛勢溪流地質圖 3-32
圖 3-29 0826 連日午後雷雨每日降雨分布 3-33
圖 3-30 0826 連日午後雷雨歷史雨量組體圖 3-34
圖 3-31 嘉縣 141 縣道 10K+250 過路箱涵上下游情況(2024 年 9 月)3-35
圖 3-32 屏縣 DF003 土石流潛勢溪流與尾寮排水地理位置.....3-38
圖 3-33 屏縣 DF003 潛勢溪流地質圖 3-39
圖 3-34 凱米颱風影響歷程及每日降雨分布 3-40
圖 3-35 大津(C1V340)凱米颱風歷史雨量組體圖(本研究繪製).....3-41
圖 3-36 屏縣 DF003 與尾寮排水災後情況(2024 年 9 月 28 日).....3-43

圖 3-37 青龍山不動寺北側支流&南側支流上游新生崩塌地位置(2024 年 9 月 28 日).....3-45
圖 3-38 屏縣 DF003 土石流潛勢溪流與尾寮排水土砂溢淹災時情況3-46
圖 3-39 屏縣 T113-3 土石流地理位置.....3-49
圖 3-40 屏縣 T113-3 土石流地質圖.....3-50
圖 3-41 凱米颱風影響歷程及每日降雨分布 3-51
圖 3-42 大津(C1V340)凱米颱風歷史雨量組體圖(本研究繪製).....3-51
圖 3-43 凹湖聚落無名橋涵尺寸圖(2024 年 9 月 28 日) 3-52
圖 3-44 屏縣 T113-3 土石流災後情況(2024 年 9 月 28 日).....3-53
圖 3-45 高市 E113-2 土石流地理位置.....3-56
圖 3-46 高市 E113-2 潛勢溪流地質圖.....3-57
圖 3-47 凱米颱風影響歷程及每日降雨分布 3-58
圖 3-48 大津(C1V340)凱米颱風歷史雨量組體圖(本研究繪製).....3-58
圖 3-49 高市 E113-2 土砂溢淹災後情況(2024 年 9 月 28 日).....3-60
圖 3-50 木瓜溪及鎮樂橋、千歲橋地理位置 3-63
圖 3-51 東縣 DF059 潛勢溪流地質圖 3-64
圖 3-52 山陀兒颱風影響歷程及每日降雨分布 3-65
圖 3-53 知本雨量站(C0S700)山陀兒颱風歷史雨量組體圖 3-65
圖 3-54 東縣 DF059 土石流潛勢溪流 土砂溢淹災後情況 3-69
圖 3-55 沙崙橋橋涵地理位置 3-71
圖 3-56 東縣 DF111 潛勢溪流地質圖 3-72
圖 3-57 山陀兒颱風影響歷程及每日降雨分布 3-73
圖 3-58 太麻里雨量站(C0S690)山陀兒颱風歷史雨量組體圖 3-73
圖 3-59 東縣 DF111 土砂溢淹災後情況(2024 年 10 月 6 日).....3-77
圖 3-60 台 9 線(舊線)橋涵地理位置.....3-79

圖 3-61 東縣 DF124 潛勢溪流地質圖 3-80
圖 3-62 山陀兒颱風影響歷程及每日降雨分布 3-80
圖 3-63 華源雨量站(C1S800)山陀兒颱風歷史雨量組體圖 3-81
圖 3-64 東縣 DF124 土砂溢淹災後情況(2024 年 10 月 5 日).....3-84
圖 3-65 華源溪地理位置 3-87
圖 3-66 東縣 DF125 潛勢溪流地質圖 3-88
圖 3-67 山陀兒颱風影響歷程及每日降雨分布 3-89
圖 3-68 華源雨量站(C1S800)山陀兒颱風歷史雨量組體圖 3-89
圖 3-69 東縣 DF125 土石流潛勢溪流 土砂溢淹災後情況(2024 年 10 月 5 日).....3-92
圖 3-70 富山橋地理位置 3-97
圖 3-71 臺鐵高架橋及富山橋橋涵現況 3-97
圖 3-72 明霸克露橋地理位置 3-100
圖 3-73 明霸克露橋橋涵情況 3-101


農業部農村發展及水土保持署
Agency of Rural Development & Soil and Water Conservation, MOA

第一章　緒論

第一節　計畫緣起與目的

土石流是山區地質災害主要類型之一，為結合大量泥砂、石塊與水之固液兩相流體，具有爆發突然、侵蝕速度快、破壞能力強之特點，常為山區居民、農地、建築、交通、水電工程及風景區等相關設施帶來相當巨大之危害。近年來隨著極端氣候條件以及地震頻繁影響，山區河道內之大量鬆散土砂材料，提供土石流相當豐富之鬆散物源，使得土石流發生頻率以及規模都有上升之趨勢，更加劇山區居民生命財產安全之損失以及相關重要設施之破壞（Takahashi, 1991； Lin et al., 2003；Tang et al., 2009；Xu et al., 2012；Gong et al., 2020；Fathani et al., 2022；Majtan et al., 2022）。

臺灣地區目前有 1,732 條土石流潛勢溪流，其中許多溪流與山區道路橋梁等跨溪構造物綜橫交錯，大多位於土石流流動段與堆積段，依最新統計(農村發展與水土保持署，2023)，有 298 處之土石流潛勢溪流影響範圍涉及鐵、公路(省道)。由於集水區上游容易受極端降雨事件影響引致嚴重邊坡崩塌，崩塌土體與水流混合進一步衍生土石流，在土石流流動段，土石流挾帶之巨石、土砂材料或漂流木等極易撞擊跨溪構造物上、下部結構，導致跨溪構造物結構損壞，造成交通中斷(交通部運輸研究所，2008)，例如民國 110 年 8 月 7 日盧碧颱風帶來超大豪雨，高雄市桃源區玉穗溪上游堆積大量土石暴發土石流，導致台 20 線之明霸克露橋受土石流撞擊沖毀(Shiu et al., 2023)；在土石流堆積段，雖然土石流侵蝕速度已經減緩，不易造成跨溪構造物結構破壞，但會在此區段持續淤積而逐漸將跨溪構造物下方通洪空間淤

滿，導致通洪斷面不足，土石、水流將進一步溢淹至跨溪構造物周圍，導致交通受阻，例如民國 110 年 10 月 8 日圓規颱風外圍環流影響，連日降雨導致臺東縣大武鄉南迴公路台 9 線富山野溪暴發土石流，大量土石阻塞富山橋通洪斷面，導致後續水砂溢淹富山橋路面並中斷交通(Chen et al., 2023)。

目前相關單位在設計跨溪構造物時，通洪斷面設計皆以清水流之洪峰流量(Qp)，並以試誤法求出斷面尺寸及溢流水深。若是設置在土石流區段，則須再計算土石流設計洪峰量(Q_D)。而依據水土保持技術規範(2023)第 65 條第二款之規定，排洪斷面除出水高外，尚應考量洪水所挾帶泥砂、漂流木而加大其斷面百分之十至百分之五十，並無明確量化依據參考，因此土石流溪流之跨溪構造物通洪斷面之設計準則，在使用上仍有其限制；此外，由於未分別考慮土石流流動段與堆積段之工況，不易評估通洪斷面是否能滿足實際需求。

因此，本研究計畫擬以三年為期，第一年以定床實驗研究不同土石流流況下影響跨溪構造物斷面，利用不同土石流之粒徑、濃度及坡度為實驗參數，記錄與計算不同實驗條件下，土石流在流動段與堆積段對於跨溪構造物通洪斷面變化，並進行土石流流動深度與堆積厚度對於跨溪構造物通洪深度之無因次分析；第二年以動床實驗研究不同土石流流況下影響跨溪構造物斷面，鋪設 10cm 之動床厚度，利用不同土石粒徑、濃度及坡度為實驗參數，記錄與計算不同實驗條件下，土石流在流動段與堆積段對於跨溪構造物通洪斷面變化以及下刷情形，並進行土石流流動深度、下刷深度與堆積厚度對於跨溪構造物通洪深度之無因次分析；第三年則彙整前兩年研究成果，補充相關實驗，並蒐集相關土石流潛勢溪流跨溪構造物之實際案例，進行應用分

析與可行性評估，最終訂定出設計準則，以提供未來土石流潛勢溪流跨溪構造物相關設計之參考依據。

第二節　計畫工作項目

本研究計畫今年度原規劃完成：1.土石流溢淹影響因素分析、2.土石流理論計算、3.不同土石流流況之定床室內實驗、4.土石流流動段與堆積段實驗結果分析等四個工作項目，礙於土石流室內實驗場地為開放空間，受到多場降雨與颱風影響，在實驗渠道設置、安裝、測試之期程有所延宕，致使實驗進度無法如期完成，因此本計畫將原規劃之第三年度工作項目「蒐集相關土石流潛勢溪流跨溪構造物之實際案例」提前至今年度進行資料蒐集與現地調查，包括凱米颱風、山陀兒颱風等土石流災例，並將定床室內實驗調整至第二年度與動床實驗一併完成，相關計畫執行架構與工作進度說明如後。

第三節　計畫執行架構與工作進度

一、計畫整體執行架構

本研究計畫擬以三年為期，第一年設置土石流實驗裝置、蒐集相關土石流潛勢溪流跨溪構造物之實際案例、土石流溢淹影響因素分析與土石流理論計算；第二年分別以定床實驗及動床實驗，進行研究不同土石流流況下影響跨溪構造物斷面，利用不同土石流之粒徑、濃度及坡度為實驗參數，記錄與計算不同實驗條件下，土石流在流動段與堆積段對於跨溪構造物通洪斷面變化及下刷情形，並進行土石流流動深度、堆積厚度及下刷深度對於跨溪構造物通洪深度之無因次分析；第三年則彙整前兩年研究成果，補充相關實驗，進行應用分析與可行性評估，最終訂定出設計準則，以提供未來土石流潛勢溪流跨溪構造

物相關設計之參考依據。整體研究流程如圖 1-1 所示。

二、計畫工作進度

本研究計畫執行將依農業部農村發展及水土保持署 113 年度創新研究計畫相關規定辦理，已於 112 年 7 月 19 日繳交期中報告書、於 11 月 13 日繳交期末報告書、於 12 月 31 日繳交成果報告書，執行規劃如圖 1-2。

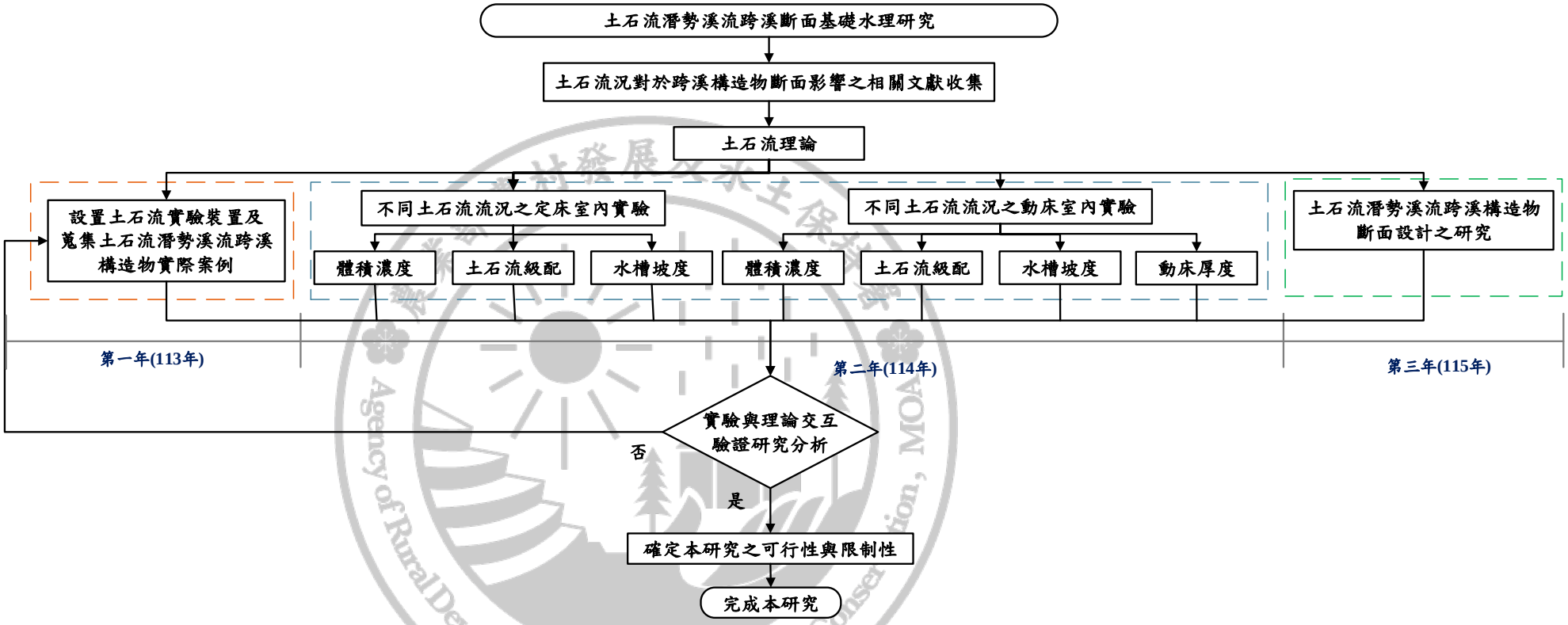


圖 1-1 本研究整體研究流程圖

工作項目	年	113 年										完成度 (%)	工作比重 (%)
	月	1~3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
土石流跨溪構造物影響分析	預定進度											100	10
	實際進度											100	
土石流計算理論	預定進度											100	20
	實際進度											100	
不同土石流流況之室內定床實驗	預定進度											100	50
	實際進度											50	
土石流動態堆積與段結果分析	預定進度											100	20
	實際進度											0	
土石流溪溪勢跨溪造物構案例調查	預定進度											0	30
	實際進度											100	
階段報告	預定進度					期中報告				期末報告	成果報告	100	10
	實際進度					期中報告				期末報告	成果報告	100	

圖 1-2 計畫執行進度

第二章　研究方法

第一節　理論依據說明

依據水土保持技術規範第 71 條，跨越土石流潛勢溪流之橋梁，其淨空應考慮土石流之影響。土石流為水、泥、砂、石混合之流體，具有明顯流路或凹槽，常有巨礫集中且呈隆起狀之先端部，其流動行為和力學特性異於一般挾砂水流，使得於土石流潛勢溪流進行治理工程設計時，必須以土石流觀點考量其特殊流動特性，並針對其相關參數進行估算(集水區整體調查規劃工作參考手冊，2008；涂繼昌等人，2010；水土保持手冊，2017；水土保持技術規範，2023)。

一、清水流洪峰流量

根據水土保持技術規範第 17 條規定得知，若無當集水區有實測資料時，面積超過 1,000 公頃者採用單位歷線法分析；面積小於 1,000 公頃者得採用合理化公式計算，方式如下：

$$Q_P = \frac{1}{360} CIA$$

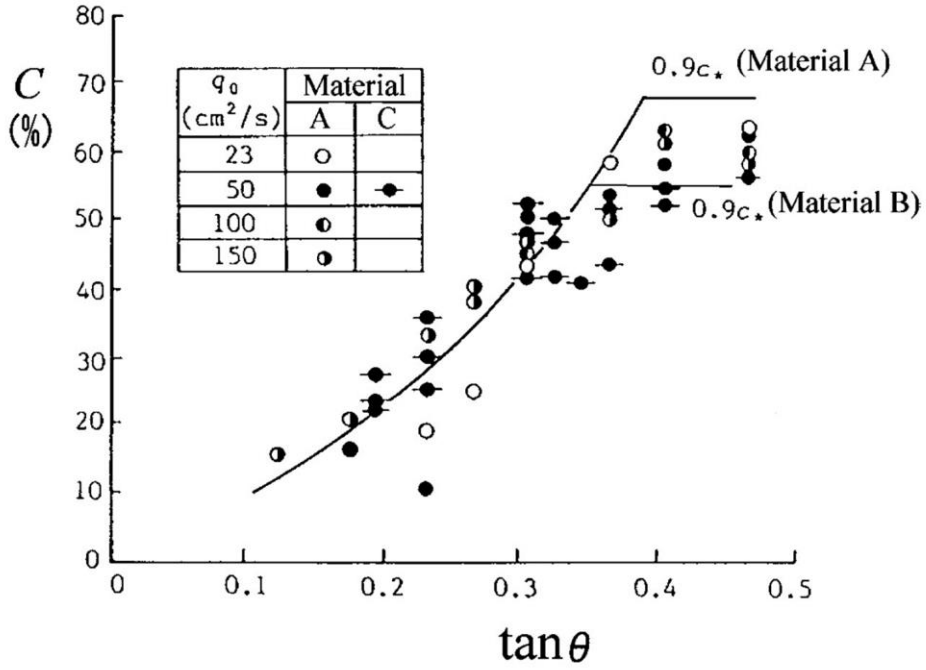
式中 Q_P=洪峰流量(m^3/s)；C=逕流係數(參考水土保持技術規範第 18 條)；I=平均設計降雨強度(mm/hr)；A=集水區面積(ha)。

二、土石流平衡泥砂體積濃度

$$C_D = \frac{\gamma_W \tan\theta}{(\gamma_s - \gamma_w)(\tan\phi - \tan\theta)} = \frac{\rho \tan\theta}{(\rho_s - \rho)(\tan\phi - \tan\theta)}$$

式中，ϕ=泥砂內摩擦角，與泥砂特性及其緊密程度相關，其值介於 26° ~48° 之間；$\tan\phi$即為靜摩擦係數；$\tan\theta$=溪床坡度(流動段之溪床平均坡度)；γ_s=土壤單位重；γ_w=清水單位重；ρ=水體密度；

ρ_s=土壤密度。根據上式，繪出不同溪床坡度下所對應之土石流泥砂體積濃度，如圖 2-1 所示。由圖得知，當溪床坡度$\theta \geqq 20^\circ$ 時，因土石流泥砂體積濃度呈現不合理的變動趨勢，故必須加以限制。為此，依照上式計算土石流泥砂體積濃度時，必須引用一限制條件，即溪床坡度$\theta < 20^\circ$ 或土石流泥砂體積濃度最大值$C_{D\max} = 0.9C_*$(C*=溪床上土石堆積物之體積濃度)。



圖片來源：Takahashi, 2007

圖 2-1 土石流先端部泥砂體積濃度與溪床坡度之比較圖

三、土石流流量

目前普遍採用的土石流最小泥砂體積濃度常以 0.3 為基準，由 91 年版水土保持技術規範第 247 條之計畫洪水量得知：

$$\bar{Q}_P = (1+\alpha)Q_P \qquad (1)$$

式中，$\overline{Q}_p$=考慮水流含砂時之洪峰流量；Q_P=清水流量(cms)；α=水流中泥砂混合率，一般採用以流量之 5%~10%為原則，最大值為50%。因此，取α=50%時，可得最大計畫洪水量為：

$$\overline{Q}_{p\max} = 1.5Q_P \tag{2}$$

由於最大計畫洪水量意指含砂量達最大時之一般挾砂洪流，而較之為大者，故假設最大計畫洪水量等於土石流最小流量時，且由水土保持技術規範第 73 條第 2 款及 3 款得知，土石流流量公式為：

$$Q_D = \frac{C_*}{C_* - C_D} Q_P \tag{3}$$

式中，Q_D=土石流流量(cms)；C_*=溪床面堆積土體之泥砂體積濃度；Q_P=清水流量(cms)。綜合以上討論，土石流泥砂體積濃度之合理範圍為 0.33C*~0.9C*。

四、土石流流深

若有現地測量的深度資料，則以現地資料為準，再者使用土石流深度公式計算；當土石流流量已知時，將溪流概化為矩形斷面，則其流深可利用曼寧公式予以計算，即：

$$h_D = \left(\frac{n_D Q_D}{B S_0^{1/2}}\right)^{3/5} \tag{4}$$

式中，h_D=土石流流深；S_0=溪床坡度，當壩上游未淤積土砂時，取$S_0 \approx \tan\theta$，若壩上游呈部分淤積或淤滿時，則$S_0 \approx \tan\alpha$(α=計畫淤砂傾角)；n_D=曼寧粗糙係數；B=溪床寬度。

五、土石流流速

若有監測而得之流速資料，則以監測資料為準，再者使用土石流

平均流速的公式計算；目前土石流平均流速有以高橋公式(1978)或曼寧經驗公式計算，基於易於使用之原則，本計畫採用曼寧經驗公式來計算土石流之流速即

$$U_D = \frac{1}{n_D} h_D^{2/3} S_0^{1/2} \tag{5}$$

式中，h_D=土石流深度；n=糙率，於土石流先端部 0.1，後續流 0.06，具襯砌流路工 0.03；S_0=溪床坡度。

六、擬定橋台設計之安全係數

(一) 流動段

橋台設計之高程(h_{bg})需與以土石流之最大流動深度$\left(h_{df_{max}}\right)$作為考量，進而考慮橋台免於土石覆蓋之安全係數$\alpha$，如下：

$$\alpha = \frac{h_{df\ \max}}{h_{bg}} \tag{6}$$

實際最大土石流動深度$\left(h_{df_{max}}\right)$於現地無法得知，而由實驗取得之最大流動深度可與理論之流動深$\left(h_{df}\right)$作為比值，可得出實際與理論之倍數關係β，可用於現地堆積高程預估，如下式

$$\beta = \frac{h_{df\ \max}}{h_{df}} \tag{7}$$

經規範提出理論值之土石流動深度$\left(h_{df}\right)$為清水流深(h_w)之 1.5 倍，但仍無實際案例證明其準確性，需透過實驗證明，其關係式如下

$$1.5h_w = h_{df} \tag{8}$$

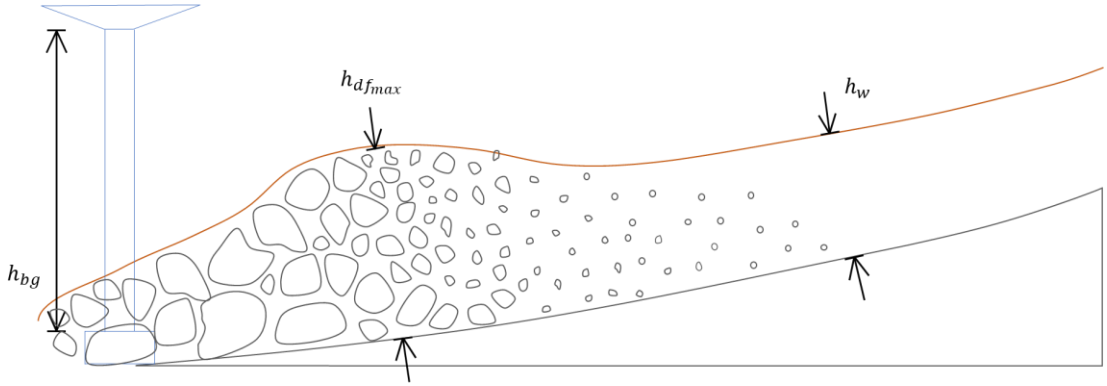


圖 2-2 土石流流動深度與橋台示意圖

(二) 堆積段

當土石流自支流匯入主流於交匯處堆積形成扇狀地，可由土石流扇狀地沿中心軸縱斷面形狀公式求得（蔡元芳，1999），本計畫由土石流裝置實驗假設土石流抵達對岸後不發生回淤現象，扇狀地沿中心軸縱斷面之平均堆積坡度不變且形成完整之扇狀地堆積，土石流最大堆積厚度Z_{max}可利用土石流自支流匯入主流之最大堆積長度L_c'與土石流平均堆積角度γ之幾何關係（圖 2-3）表示。

$$Z_{max} = tan(\gamma - \theta_d) \times L_c' \tag{9}$$

式中，θ_d為土石流下游緩坡坡度。

由實驗取得之最大堆積深度可與橋台設計之高程(h_{bg})作為比值，可得出實際與理論之倍數關係χ，可用於現地堆積高程預估，如下式

$$h_{bg} = \chi Z_{\max} \tag{10}$$

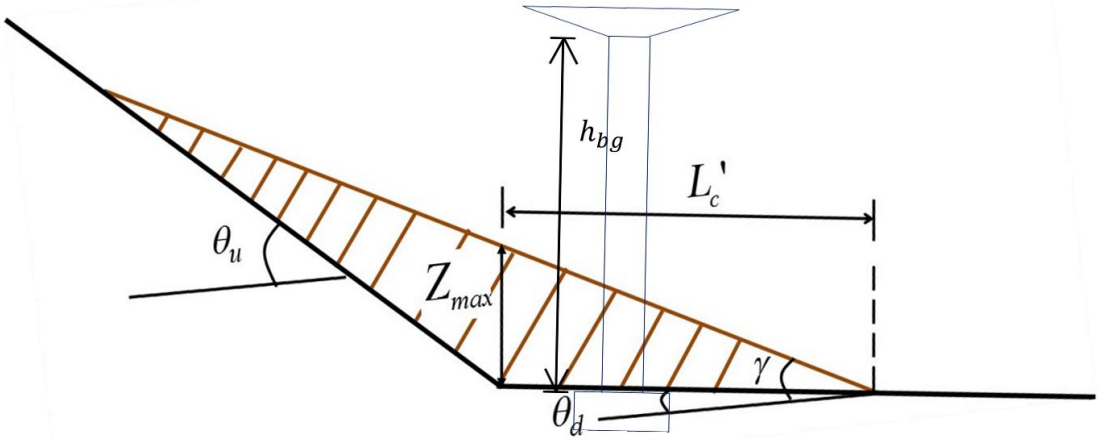


圖 2-3 土石流堆積深度與橋台示意圖

農業部農村發展及水土保持署 Agency of Rural Development & Soil and Water Conservation, MOA

第二節　實驗儀器與設備說明

本研究設置一土石流實驗裝置，在河道寬度固定條件下，定床實驗為不考慮溪床底部淘刷情形，動床實驗則於溪床鋪設 10cm 之動床厚度，透過不同實驗參數之設定，記錄與計算不同實驗條件下，土石流在流動段與堆積段對於跨溪構造物通洪斷面變化以及下刷情形，並進行土石流流動深度、下刷深度與堆積厚度對於跨溪構造物通洪深度之無因次分析。定床實驗及動床實驗流程圖如圖 2-4 及圖 2-5 所示。

本研究計畫於今年度(113 年)2 月 7 日簽准核定後，以核定公文在 2 月 27 日藉由系務會議向系上申請場地並獲得同意(如圖 2-6)，將土石流實驗裝置設置於國立屏東科技大學水工實驗場前空地(TWD97-X：210181；Y：2504967)，如圖 2-7。場地爭取到以後，開始尋求廠商規劃配置，於 4 月初開始動工並在 4 月 18 日完成供水系統設置，於 5 月完成基礎與排水系統開挖、模板施工，由於實驗場地為開放空間，礙於 6 月降雨天數較長，廠商無法如期灌漿，延至 7 月才陸續灌漿完成，而在 8 月開始架設渠道過程中，因遇午後雷陣雨、凱米颱風及山陀兒颱風等降雨影響，土石流實驗裝置延宕至 10 月底才架設完成，11 月份則進行實驗測試，土石流實驗裝置現況如圖 2-8 所示。

土石流實驗水槽裝置為總長 752.6cm，寬 58cm，高 47.3cm；水槽上方為放置土石流流體材料槽，水槽下方為土石流堆積區平台，水槽裝置可以配合試驗需要變化坡度至 30˚，分別在水槽流動段與堆積段各設置一橋梁，以模擬通洪斷面，實驗裝置如圖 2-9。

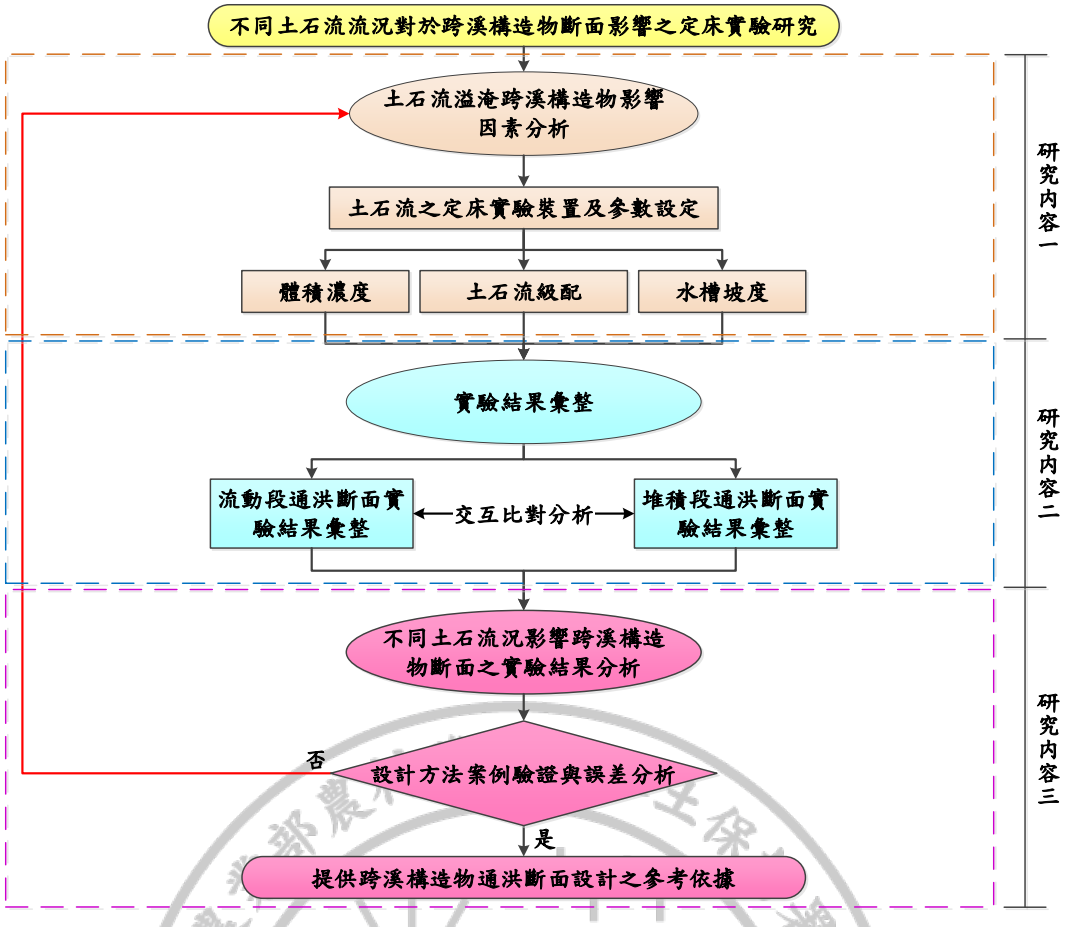


圖 2-4 本研究定床實驗流程圖

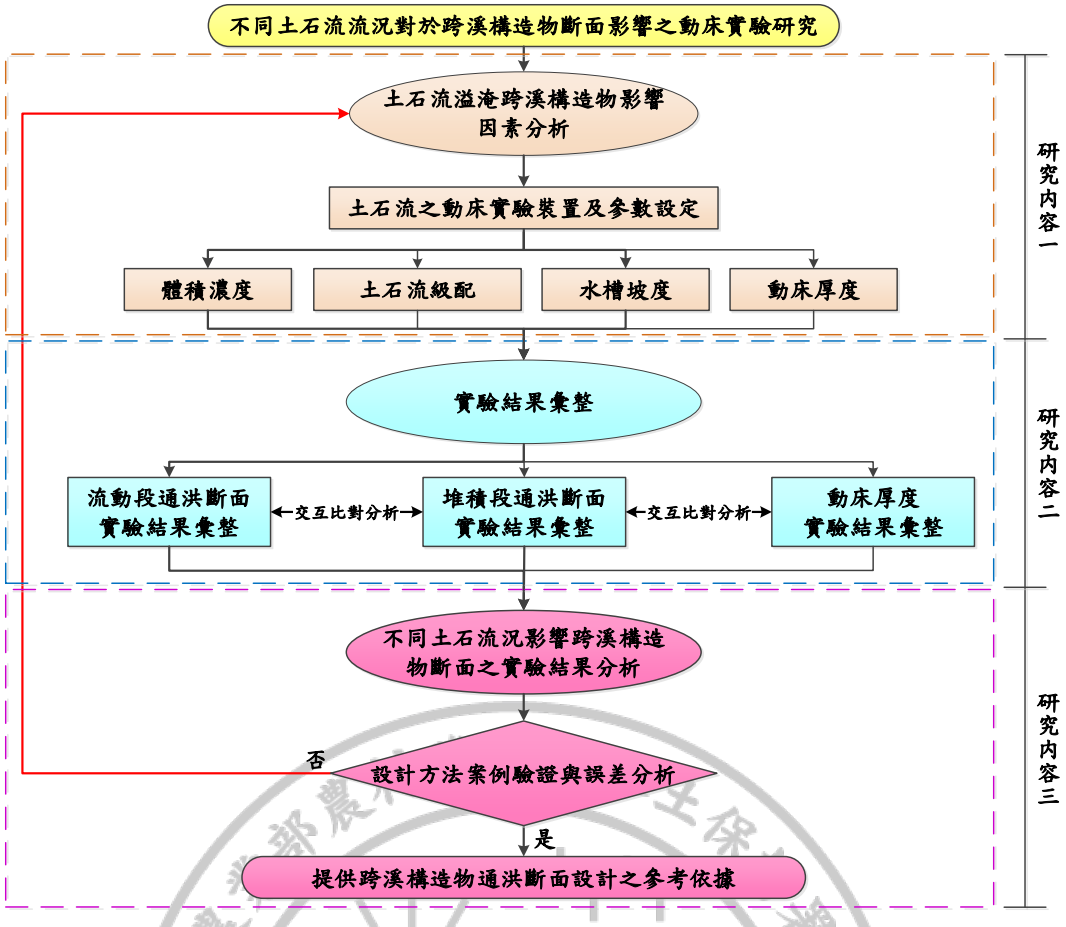


圖 2-5 本研究動床實驗流程圖

提案四　　提案單位：陳昆廷助理教授

事由：陳昆廷助理教授擬申請使用土木工程系水工實驗室右側空地空間一案，提請 討論。

說明：

職因教學與研究需求，擬在系上設置可調整坡度至 30 度之 7 公尺長水槽(圖 1)，模擬土石流對於橋梁之影響、堰塞壩潰壩機制等實驗，目前系上實驗室空間無法擺設水槽與其周邊設備，因此提出申請使用土木工程系水工實驗室右側空地空間一案，使用範圍為長約 19 公尺，寬約 6 公尺(圖 2 之紅色區域)，先以整地為主(圖 3~4)，不架設永久性建物，以利水槽設置與實驗進行。

圖 2-6 系務會議申請場地並獲得同意



圖 2-7 土石流實驗裝置架設區位

<table>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>實驗場地預定區位
(2024 年 2 月 25 日拍攝)</td><td>實驗場地水線設置開挖
(2024 年 4 月 18 日拍攝)</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>實驗場地排水系統與基礎開挖
(2024 年 5 月 21 日拍攝)</td><td>實驗場地基樁設置與灌漿完工
(2024 年 7 月 15 日拍攝)</td></tr>
</table>

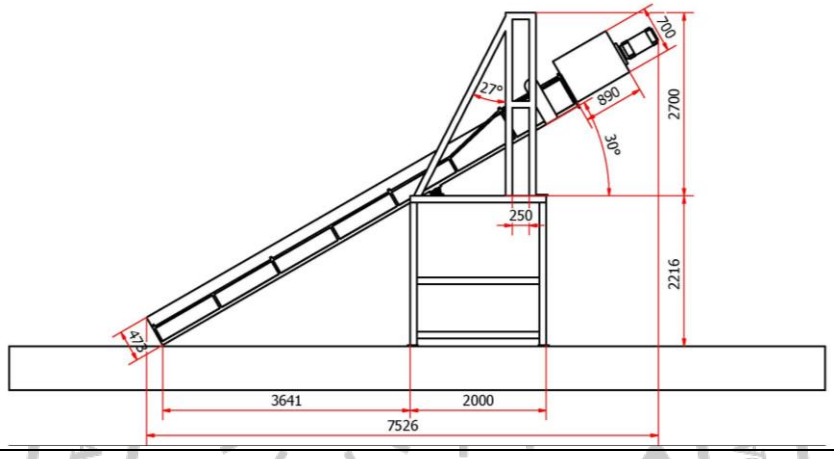


土石流實驗裝置設置完成
(2024 年 10 月 21 日拍攝)

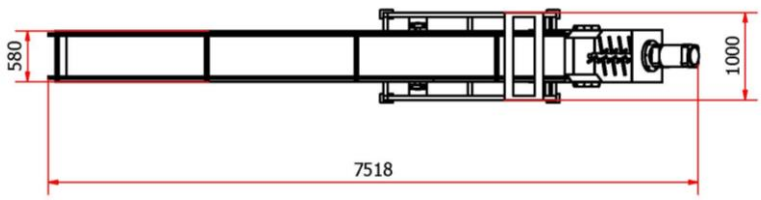


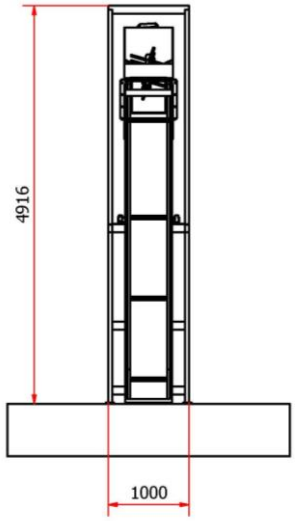
土石流實驗裝置進行測試
(2024 年 11 月 8 日拍攝)

圖 2-8 土石流實驗裝置架設區位施工情況



(a)本研究實驗渠道側視圖





(b)本研究實驗渠道俯視圖與正視圖

圖 2-9 土石流試驗裝置圖(單位：mm)

第三節　實驗組數規劃

實驗參數設定彙整如表 2-3 示，實驗組數預計施作 24 組，詳細實驗參數說明如下：

一、體積濃度

一般發生土石流之體積濃度約在 0.28 以上，而 Takahashi(1981)根據實驗結果，發現當坡度大於 17.6 度的河谷，理論體積濃度最大值為 0.603。故本試驗將體積濃度分別設為 0.3、0.5、0.6。

$$C_d = \frac{V_S}{V}$$

式中，C_d=體積濃度；V=土石流體積；V_S=土石流之土石體積。

二、土石級配

假定土石流體積濃度為 0.5，實驗購置之乾土密度為 2.65g/cm^3。固定用土質量 13,000g。根據質量和密度之關係式(ρ=M/V)，可以計算出用土體積為 4,906cm^3。

由於土石流體積百分比濃度為 0.5，所以水之體積也取 4,906cm^3，對應質量為 4,906g。土加水之體積為土石流初始體積 9,812cm^3，對應初始質量為 17,906g，即可算出土石流之密度為 1.825g/cm^3。而配置土石流所採用之三種粒料級配，分別為窮級配、富級配及均勻級配(圖 2-10)，富級配粒徑曲線分布圖及篩分析計算表，如圖 2-11 及表 2-2 所示。



圖 2-10 土石流級配示意圖

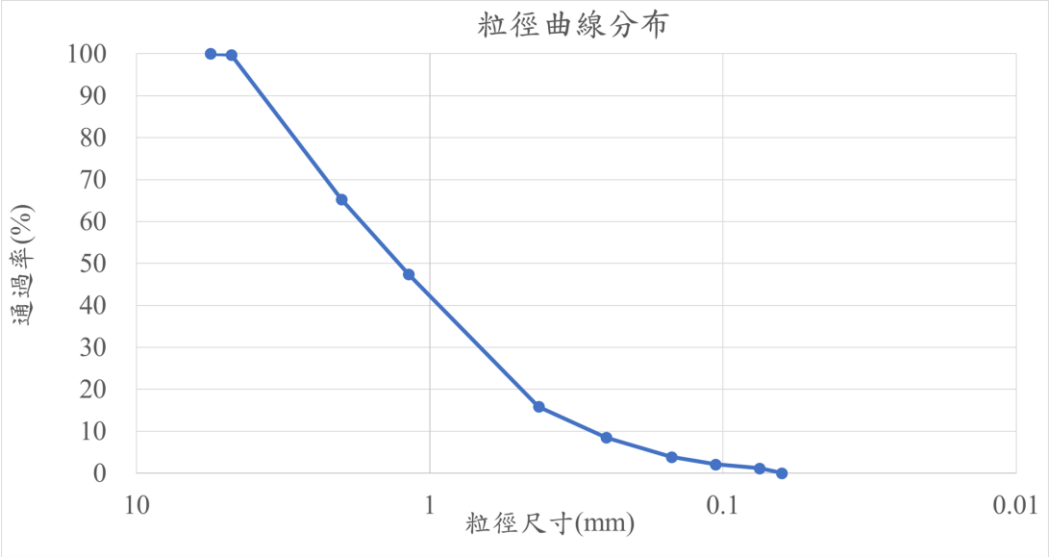


圖 2-11 富級配粒徑曲線分布圖

表 2-1 篩分析計算表

篩號	篩網尺寸 (mm)	篩號重 (kg)	停留土壤重 (kg)	停留土壤百分比	累計土壤百分比	通過率 (%)
3 1/2 號	5.6			0	0	100
4 號	4.75	0.459	0.026	0.256	0.25600	99.7440
10 號	2	0.332	3.5	34.428	34.684	65.316
16 號	1.18	0.325	1.823	17.932	52.617	47.383
40 號	0.425	0.312	3.207	31.546	84.163	15.837
60 號	0.25	0.31	0.748	7.358	91.521	8.479

篩號	篩網尺寸 (mm)	篩號重 (kg)	停留土壤重 (kg)	停留土壤百分比	累計土壤百分比	通過率 (%)
100 號	0.15	0.303	0.468	4.604	96.125	3.875
140 號	0.106	0.298	0.181	1.780	97.905	2.095
200 號	0.075	0.249	0.096	0.944	98.849	1.151
底盤	0.063	0.335	0.117	1.151	100.000	0.000
		2.923	10.166	100		

三、水槽坡度

土石流發生之溪谷坡度通常在 15-30°之間，而超過 30°之坡度，一般土體即處於不穩定狀態，反而容易以崩塌方式破壞，以致於在未形成之土石流之前，即因崩塌潰散，失去原陡急之坡度，是以在坡度大於 30°之溪谷或邊坡，反而發生土石流之可能性較低(游繁結，2002)。另外結合本計畫之土石流調查結果顯示，部分土石流區域受到工程控制影響，流動區坡度都約在 10°~15°，故本試驗將水槽坡度分別設為 15°及 20°。

四、跨溪構造物設置

土石流一般可區分為發生段、流動段以及堆積段等三個區域，而跨溪構造物一般設置於流動段與堆積段，因此本實驗將跨溪構造物分別設置於流動段及堆積段，觀察土石流流動對其之影響。

表 2-2 實驗參數設定及組數

體積濃度	土石流級配	水槽坡度（°）	跨溪構造物設置	實驗組數
0.3	級配一	15	流動段	24 組
0.5	級配二	20	堆積段	
0.6				

第三章　土石流潛勢溪流跨溪構造物案例調查成果

第一節　凱米颱風後土石流災害

一、高市DF050土石流潛勢溪流

災害位置位於高雄市六龜區大津里台 27 線 20k 之六津橋(圖 3-1)(TWD97-X：213947；Y：2534777)。流域所屬高屏溪流域，子集水區為扇平流域，集水區總面積 168ha，集水區最大高差 564m，溪流長度 1.6km、高程平均 508m、坡度平均為 35.25°。

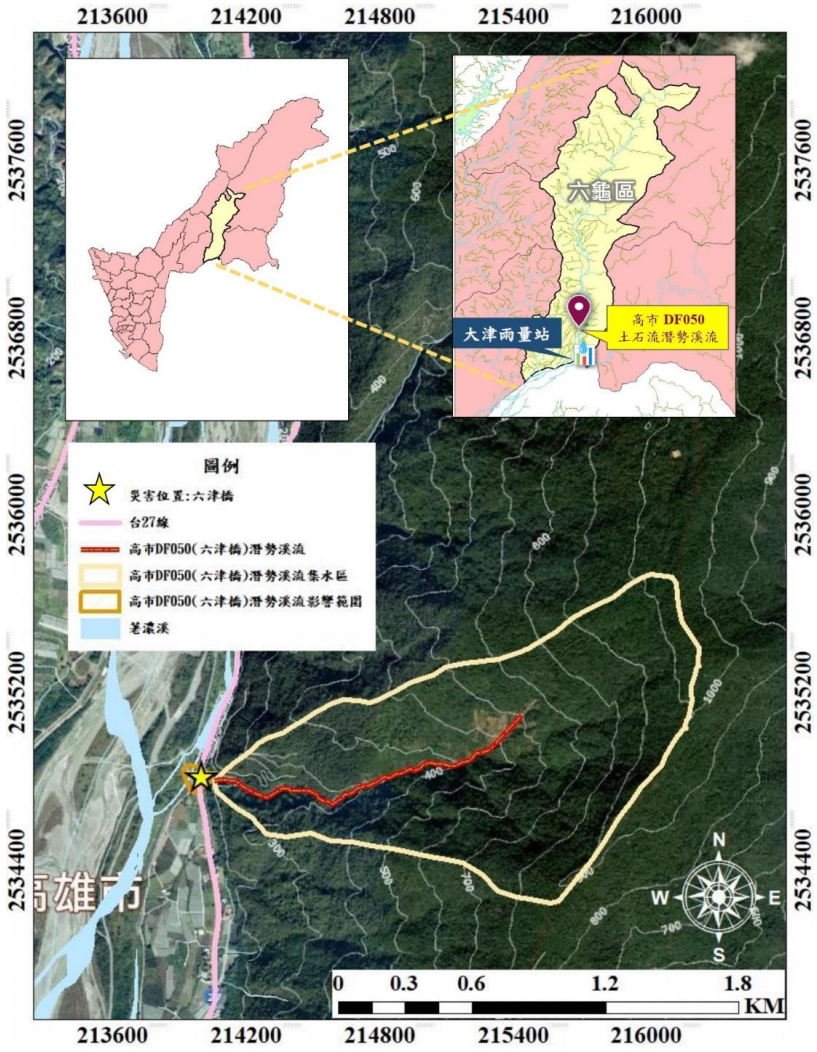


圖 3-1 六津橋地理位置

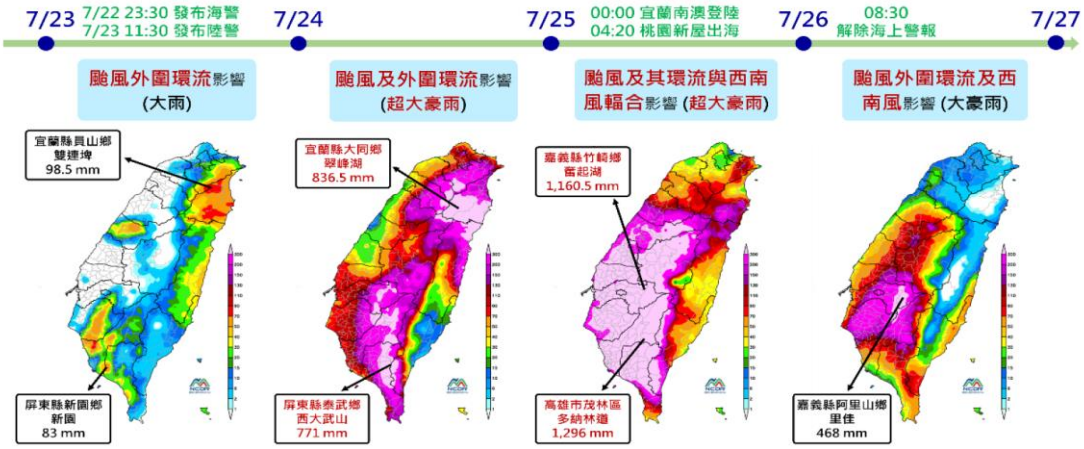
高雄市土石流潛勢溪流 DF050(以下簡稱高市 DF050)發生區位地質沖積層，土壤組成為礫石、砂及黏土(圖 3-2)。參考雨量站為大津雨量站(C1V340)，平均年雨量 3,022mm，土石流警戒基準值 350mm，降雨主要集中在 5 月至 9 月雨季期間，其主要來源包括梅雨季和颱風(交通部中央氣象署，2024)。



資料來源：經濟部地質調查及礦業管理中心，2024

圖 3-2 高市 DF050 潛勢溪流地質圖

2024 年 7 月下旬(圖 3-3)高市 DF050 因凱米颱風及其外圍環流與後續西南風旺盛水氣影響帶來之強降雨造成集水區源頭既有崩塌地擴大引發土石流，土砂淤滿防砂壩及河道後，六津橋上、下游土砂淤積分別約 11 及 5m 高，土砂溢流兩岸，並淤埋農地及台 27 線。堆積範圍長約 200m，寬約 200m，面積約 40,000m^2，平均堆積深度約 5m，堆積土方量約 20,000m^3。(農業部農村發展及水土保持署，2024)。



資料來源：國家災害防救科技中心，2024

圖 3-3 凱米颱風影響歷程及每日降雨分布

經農業部農村發展及水土保持署推估土石流流出時間為 7 月 25 日上午 11 時，搭配圖 3-4 參考大津雨量站凱米颱風歷史雨量組體圖，土石流災害發生時以前期降雨 ETR2 有效累積雨量為 861.5mm，發生時降雨強度為 105.5mm/hr(交通部中央氣象署，2024)。

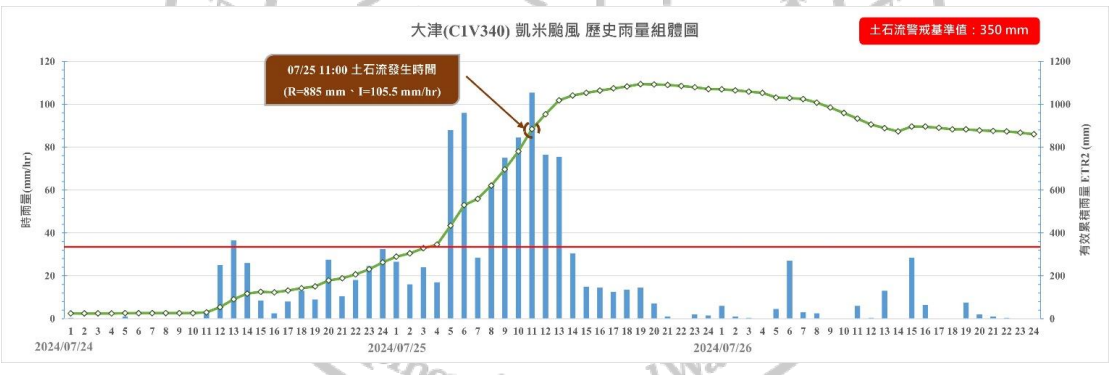
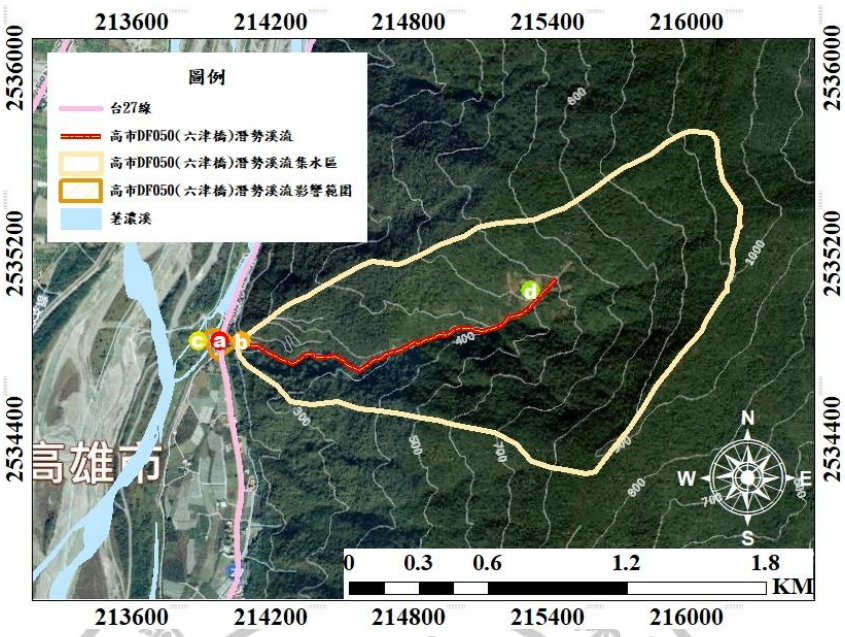


圖 3-4 大津(C1V340)凱米颱風歷史雨量組體圖(本研究繪製)

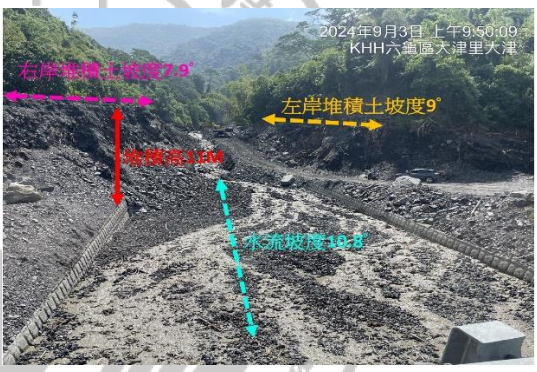
六津橋通洪長寬高分別為 29m、10m、3.2m(圖 3-5a)，在清淤過程於 2024 年 9 月 3 日經現場調查，六津橋上游仍有 11m 高之堆積土石，上游右岸堆積坡度約 7.9°，上游左岸堆積坡度約 9°，上游水流坡

度約為 10.8°(圖 3-5b)，下游水流坡度約為 7°，下游堆積坡度約 3°(圖 3-5c)。





a.六津橋



b.上游堆積現況



c.下游堆積現況



d.崩塌地現況

圖 3-5 六津橋上下游土石溢淹情況(2024 年 9 月 3 日)

本研究分析高市 DF050 潛勢溪流集水區各重現期距與 2024 年凱米颱風降雨事件之清水流與土石流流量數據(表 3-1)，並檢視六津橋斷面流量為 556.8m^3/s(表 3-2)。

本研究針對六津橋所計算之清水流流況分析結果得知(表 3-3)，六津橋通洪斷面流量 556.8m^3/s 皆大於重現期距 50 年、100 年之清水流流量為 44.43m^3/s 與 48.00 m^3/s，各重現期距和降雨事件之清水流流量足夠穩定通過橋梁。

高市 DF050 土石流潛勢溪流重現期距 50、100 年之土石流流量為 56.70m^3/s 與 61.25m^3/s，而 2024 年凱米颱風之土石流流量為 53.41m^3/s。從分析結果得知，六津橋斷面流量皆大於且滿足各重現期距和降雨事件之土石流流量。

綜合上述分析，六津橋符合高市 DF050 土石流潛勢溪流重現期距 50 年、100 年清水流流量設計標準與重現期距 50 年、100 年土石流流量設計標準，但 2024 年凱米颱風仍導致六津橋與台 27 線道路淤埋災情，本研究研判原因為上游舊崩塌地之土體因平時午後發生豪大雨，導致土砂量體持續堆積，且本次凱米颱風總降雨量為 1,244mm、降雨延時長長達 70hr、最大降雨強度達 105.5mm/hr(表 3-4)，使得土砂量體大量傾洩而下，造成六津橋與台 27 線土砂堆積，影響台 27 線交通安全。

表 3-1 高市 DF050 土石流流量分析

土石流流量分析	六津橋		
重現期距與颱風事件	50(年)	100(年)	凱米 (2024 年)
清水流流量 Q_p (m^3/s)	44.43	48.00	41.85
土石流流量 Q_D (m^3/s)	56.70	61.25	53.41

表 3-2 高市 DF050 通洪斷面檢討

排水構造物	尺寸(m)		最大流速 V (m/s)	清水流流量 Q_p (m^3/s)	構造物 Q_p > 重現期距/事件 Q_D				堆積深度 (m)
	溝底寬 w	通洪斷面最高水深 y			50 (年)	100 (年)	凱米 (2024 年)	現場	
六津橋	29	3.2	6	556.8	是	是	是	否	6.39

表 3-3 高市 DF050 不同重現期距之清水流流量

集流時間 t_c (min)	重現期距 T (年)	降雨強度 I (mm/hr)	清水流流量 Q_p (m^3/s)
6.17	10	128.00	35.30
	25	146.06	40.46
	50	159.72	44.43
	100	173.37	47.70

資料來源：BigGIS 巨量空間資訊系統，2024

表 3-4 高市 DF050 災害事件降雨資料分析

颱風事件(年)	凱米(2024)
降雨延時(hr)	70
累積雨量(mm)	1,244
最大降雨強度(mm/hr)	105.5

二、高市DF114土石流潛勢溪流

災害位置位於高雄市六龜區中興里 0K+140 處之扇平林道過路箱涵(圖 3-6)(TWD97-X：214398；Y：2541338)。流域所屬高屏溪流域，子集水區為扇平流域，集水區總面積 26ha，集水區最大高差 750m，溪流長度 0.7km、高程平均 402.5m、坡度平均為 33°。

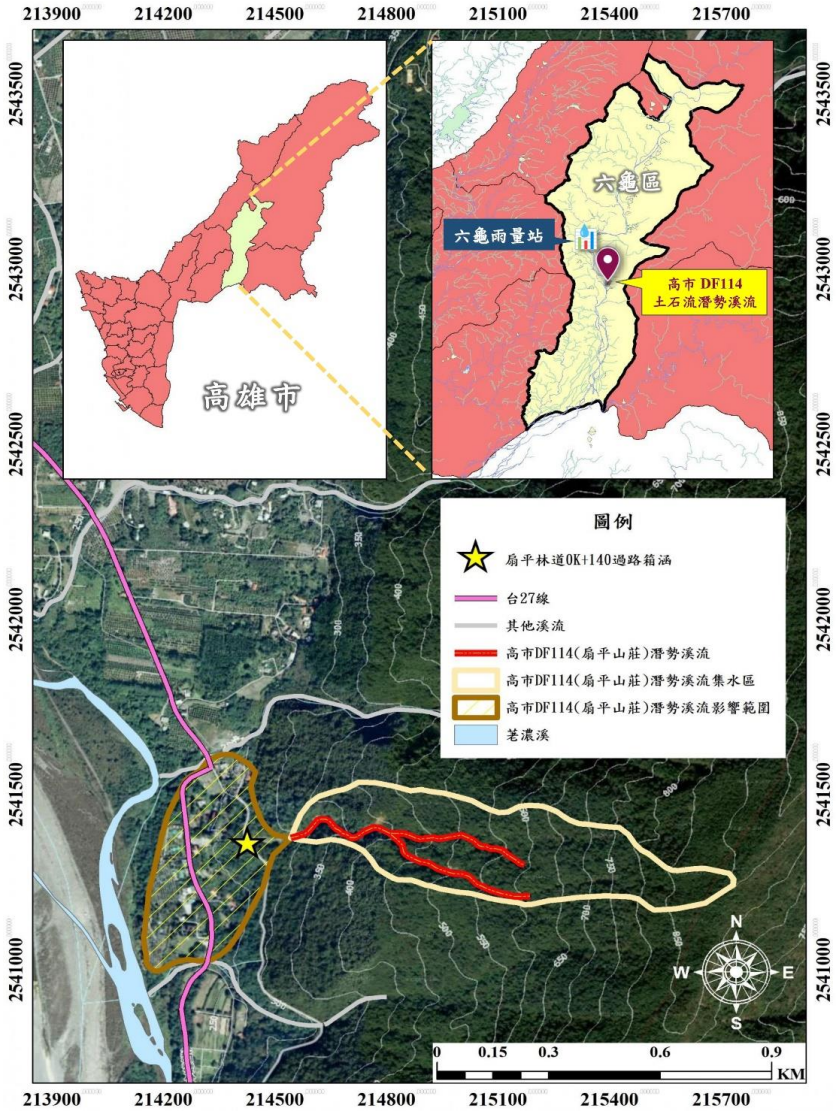
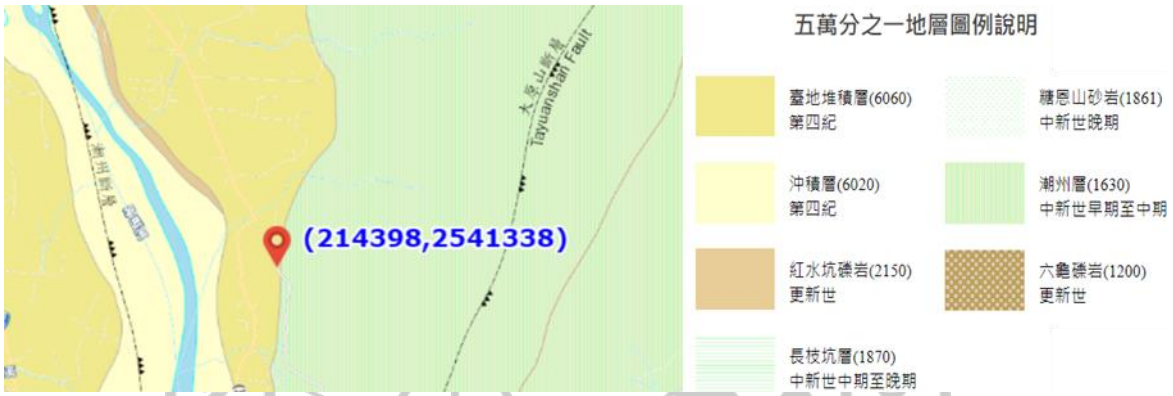


圖 3-6 扇平林道 0K+140 過路箱涵地理位置

高雄市土石流潛勢溪流 DF114(以下簡稱高市 DF114)發生區位地

質屬臺地堆積層，主要組成為礫石、砂及泥；高市 DF114 上游地質屬潮州層，主要組成為板岩與硬頁岩，災害區位鄰近潮州斷層及大原山斷層，然而大原山斷層岩層較為破碎(圖 3-7)(經濟部地質調查及礦業管理中心，2024)。參考雨量站為六龜雨量站(C0V800)，平均年雨量 3,288mm，土石流警戒基準值 350mm，降雨主要集中在 5 月至 9 月雨季期間，其主要來源包括梅雨季和颱風(交通部中央氣象署，2024)。

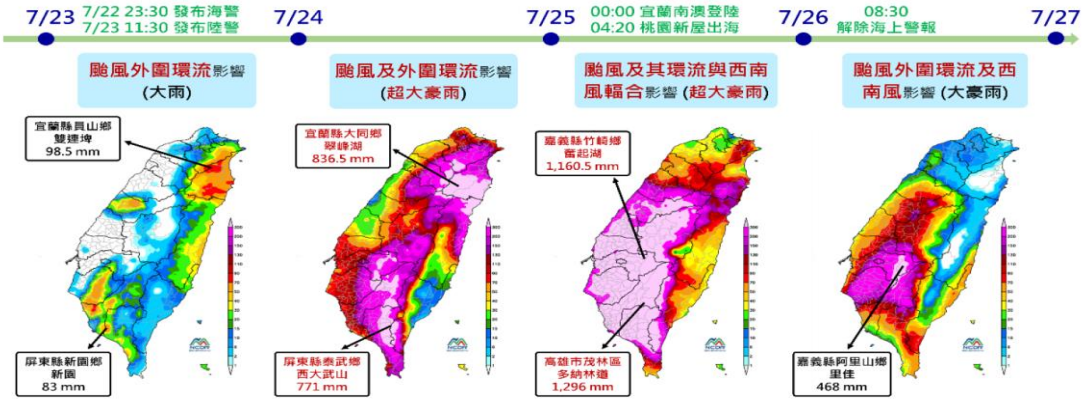


資料來源：經濟部地質調查及礦業管理中心，2024

圖 3-7 高市 DF114 潛勢溪流地質圖

2024 年 7 月下旬高市 DF114 因凱米颱風及其外圍環流與後續西南風旺盛水氣影響(圖 3-8)帶來之強降雨沖刷集水區源頭舊有崩塌地引發土石流(圖 3-9)，土砂淤滿既有沉砂設施後溢流兩岸，土砂撞擊扇平山莊建物同時也流入扇平山莊園區及扇平停車場，並淤埋扇平林道 0K+140 過路箱涵，且因土砂淤埋原河道，造成水流沿扇平林道路邊坡流向下游，土砂由上游沉砂設施開始堆積至下方新發公路(台 27

線)旁，堆積範圍長約 250m，寬約 200m，面積約 20,000m^2，平均堆積深度約 1m，堆積土方量約 20,000m^3，總土方量約 23,000m^3(圖 3-10)(農業部農村發展及水土保持署，2024)。



資料來源：國家災害防救科技中心，2024

圖 3-8 凱米颱風影響歷程及每日降雨分布



圖 3-9 高市 DF114 上游舊崩塌地位置(2024 年 9 月 28 日)



資料來源：農業部農村發展及水土保持署，2024

圖 3-10 高市 DF114 凱米颱風堆積範圍

經農業部農村發展及水土保持署推估土石流流出時間為 7 月 25 日上午 7 時，搭配圖 3-11 參考六龜雨量站凱米颱風歷史雨量組體圖，土石流災害發生時以前期降雨 ETR2 有效累積雨量為 567mm，發生時降雨強度為 53.5mm/hr；崩塌發生時間為 7 月 26 日下午 3 時，災害發生時以前期降雨 ETR2 有效累積雨量為 1,066.2mm，發生時降雨強度為 35.5mm/hr(交通部中央氣象署，2024)。

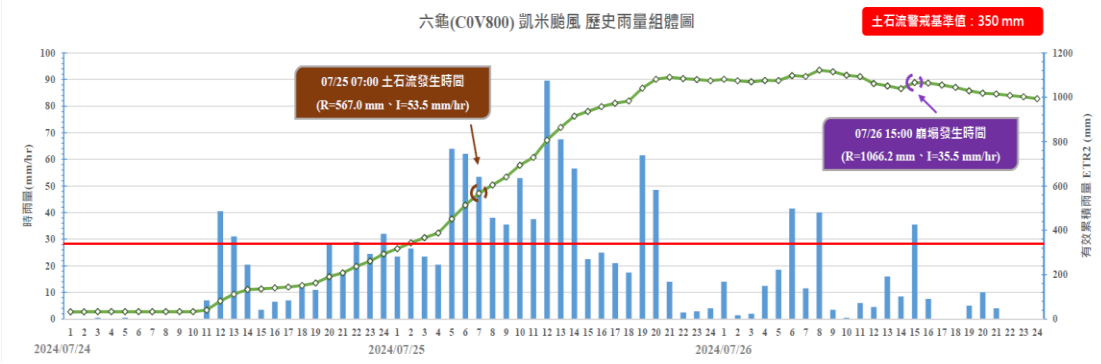
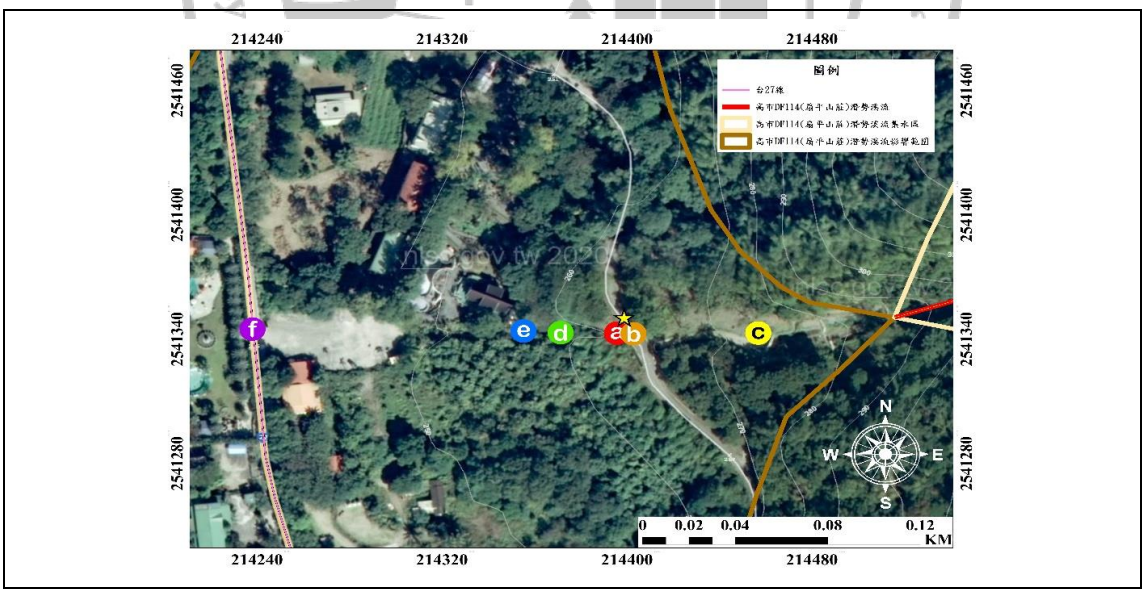


圖 3-11 六龜(C0V800)凱米颱風歷史雨量組體圖(本研究繪製)

扇平林道 0K+140 過路箱涵通洪長寬高分別為 6m、7.5m、3.2m(圖 3-12)，在清淤過程於 2024 年 9 月 3 日經現場調查，扇平山莊房屋有受到土砂撞擊(圖 3-13e)，而水流在箱涵附近滲流至土砂中，於新發公路(台 27 線)東側上游 50m 處出流溢流至新發公路西側側溝(圖 3-13f)。

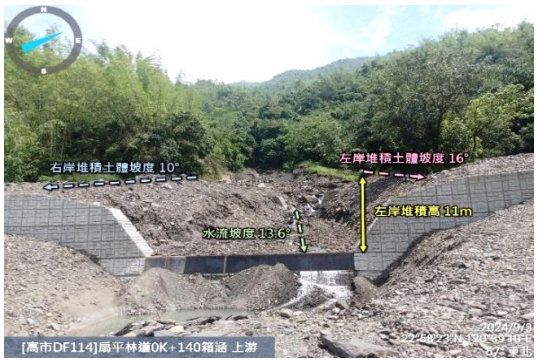


圖 3-12 扇平林道 0K+140 過路箱涵尺寸圖(2024 年 9 月 3 日)





a.扇平林道 0K+140 過路箱涵



b.上游堆積現況



c.上游沉砂池淤埋情形



d.下游堆積現況



e.下游扇平山莊房屋受撞擊



f.下游台 27 線旁扇平山莊停車場門口

圖 3-13 扇平林道 0K+140 過路箱涵上下游災後情況

本研究分析高市 DF114 潛勢溪流集水區各重現期距與 2024 年凱米颱風降雨事件之清水流與土石流流量數據(表 3-5)，並檢視其下游

經過扇平林道 0K+140 過路箱涵之斷面流量為 115.2m^3/s(表 3-6)。

本研究針對扇平林道 0K+140 過路箱涵所計算之清水流流況分析結果得知(表 3-7)，扇平林道 0K+140 過路箱涵通洪斷面流量 115.2m^3/s 皆大於重現期距 50 年、100 年之清水流流量為 7.12m^3/s 與 7.74m^3/s，各重現期距和降雨事件之清水流流量足夠穩定通過箱涵。

高市 DF114 土石流潛勢溪流重現期距 50、100 年之土石流流量為 14.25m^3/s 與 15.47m^3/s，而 2024 年凱米颱風之土石流流量為 10.99m^3/s。從分析結果得知，扇平林道 0K+140 過路箱涵斷面流量皆大於且滿足各重現期距和降雨事件之土石流流量。

綜合上述分析，扇平林道 0K+140 過路箱涵符合高市 DF114 土石流潛勢溪流重現期距 50 年、100 年清水流流量設計標準，若加以考慮土石流流量條件，其箱涵仍然符合重現期距 50 年、100 年土石流流量設計標準，但 2024 年凱米颱風所導致箱涵與扇平林道道路淤埋災情，本研究研判原因為上游舊崩塌地之土體因平時午後發生豪大雨多次的土砂量體持續堆積，且於本次凱米颱風影響時所帶來超大豪雨之降雨量為 1,384mm、降雨延時長長達 72hr、最大降雨強度達 89.5mm/hr(表 3-8)，使得土砂量體直接大量傾洩而下帶到下游段扇平林道 0K+140 過路箱涵、沉砂池與扇平山莊停車場遭淤埋大量土砂堆積，產生泥流流至道路旁排水溝進而影響台 27 線路面及交通安全。

表 3-5 高市 DF114 土石流流量分析

土石流流量分析	扇平林道 0K+140 箱涵		
重現期距與颱風事件	50(年)	100(年)	凱米 (2024 年)
清水流流量 Q_p (m^3/s)	7.12	7.74	5.49
土石流流量 Q_D (m^3/s)	14.25	15.47	10.99

表 3-6 流高市 DF114 通洪斷面檢討

排水構造物	尺寸(m)		最大流速 V (m/s)	清水流流量 Q_p (m^3/s)	構造物 Q_p>重現期距/事件 Q_D				淤積深度 (m)
	溝底寬 w	通洪斷面最高水深 y			50 (年)	100 (年)	凱米 (2024 年)	現場	
扇平林道 0K+140 箱涵	6	3.2	6	115.2	是	是	是	否	7.2

表 3-7 高市 DF114 不同重現期距之清水流流量

集流時間 t_c (min)	重現期距 T (年)	降雨強度 I (mm/hr)	清水流流量 Q_p (m^3/s)
5.01	10	93	5.71
	25	107	6.57
	50	116	7.12
	100	126	7.74

資料來源：BigGIS 巨量空間資訊系統，2024

表 3-8 高市 DF114 災害事件降雨資料分析

颱風事件(年)	凱米(2024)
降雨延時(hr)	72
累積雨量(mm)	1,384
最大降雨強度(mm/hr)	89.5

三、南投縣土石流潛勢溪流DF206

災害位置位於南投縣信義鄉東埔村投 95 線 4.3K 過路箱涵(圖 3-14)(TWD97-X：241266；Y：2607344)。流域所屬濁水溪流域，子集水區為陳有蘭流域，支流集水區總面積 86ha，集水區最大高差 1,140m，溪流長度 1.5km、高程平均 1,610m、坡度平均為 57°。

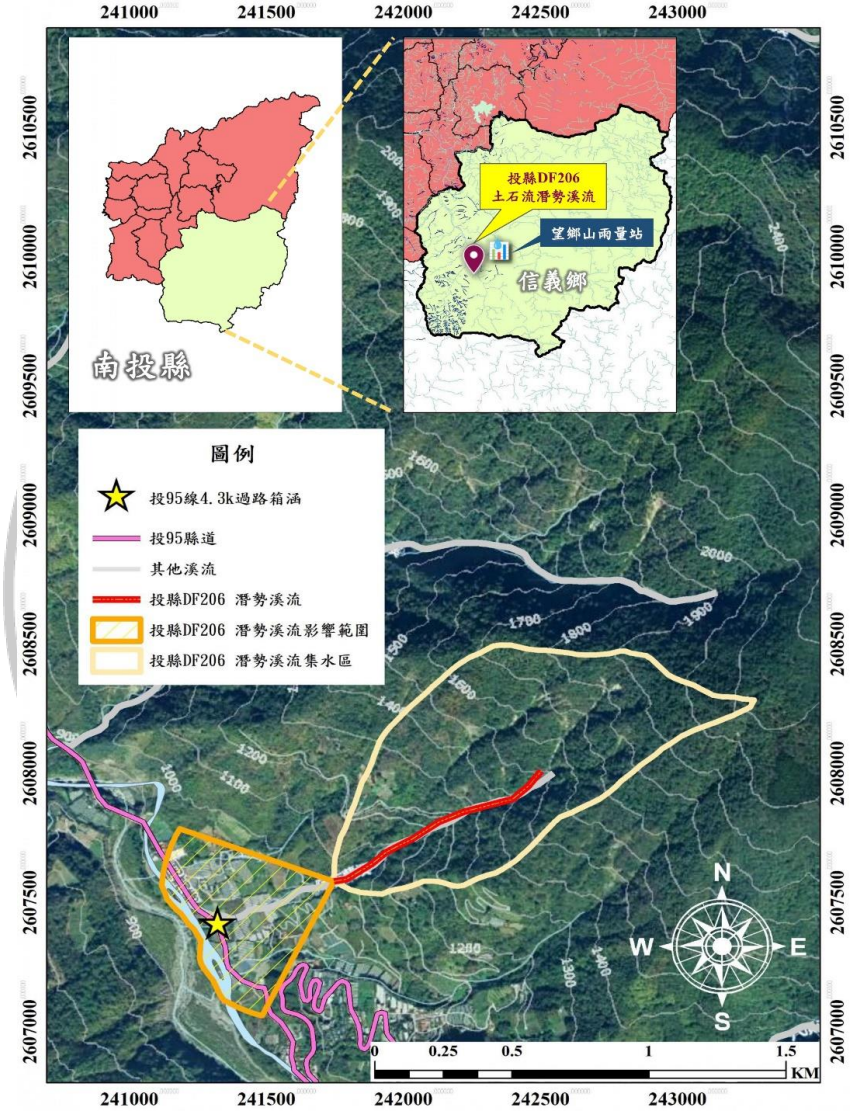
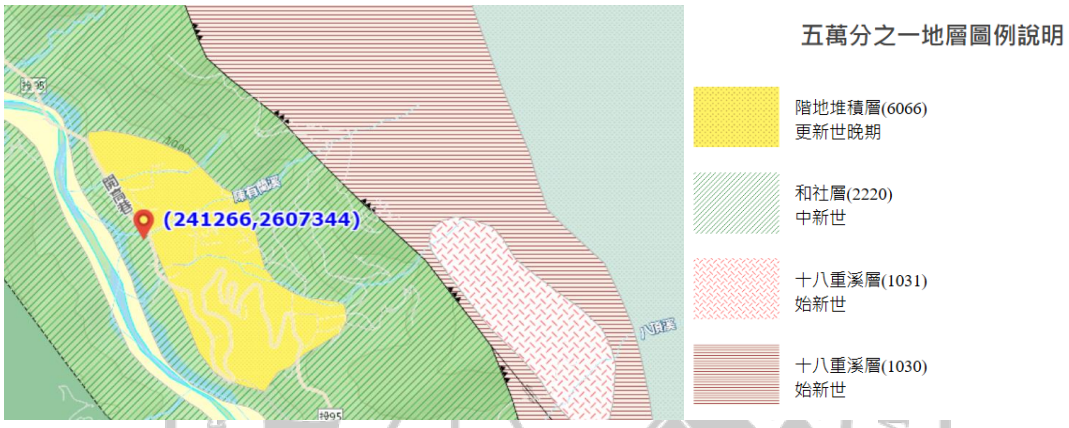


圖 3-14 投 95 線 4.3K 過路箱涵地理位置

南投縣土石流潛勢溪流 DF206(以下簡稱投縣 DF206)發生區位地

質屬階地堆積層、和社層，於水里坑斷層與東埔斷層之間，投縣 DF206 上游地質則屬十八重溪層，岩性大多黑灰色板岩，間夾白灰色變質砂岩或變質砂岩與板岩互層，下游階地堆積層所含材料均來自上游地區岩層(圖 3-15)(經濟部地質調查及礦業管理中心，2024)。參考雨量站為望鄉山雨量站(C1I450)，平均年雨量 2,235mm，土石流警戒基準值 300mm，降雨主要集中在 5 月至 9 月雨季期間，其主要來源包括梅雨季和颱風(交通部中央氣象署，2024)。

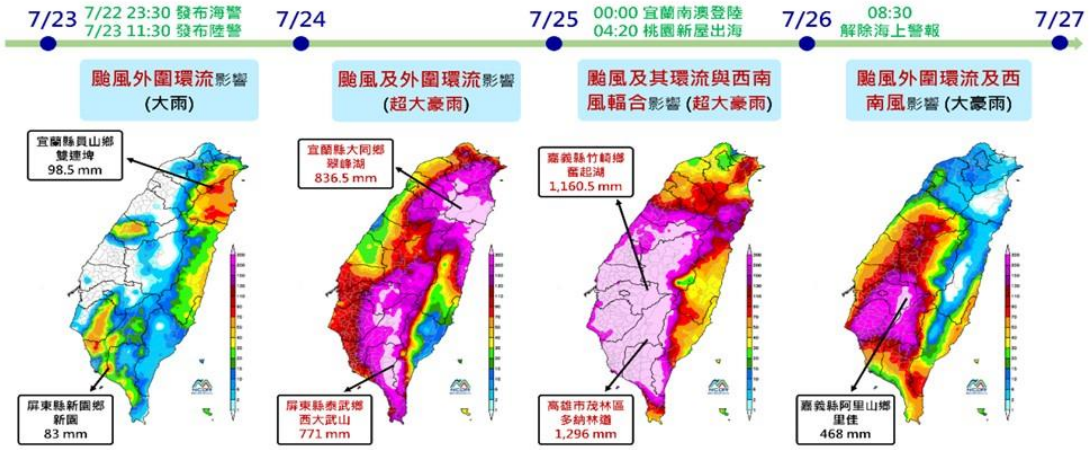


資料來源：經濟部地質調查及礦業管理中心，2024

圖 3-15 投縣 DF206 潛勢溪流地質圖

2024 年 7 月下旬投縣 DF206 因凱米颱風及其外圍環流與後續西南風旺盛水氣影響(圖 3-16)帶來之強降雨沖刷集水區源頭舊有崩塌地引發土石流。本次現地調查時間為 2024 年 9 月 4 日，並經現地居民提供資訊可得知投縣 DF206 最近一次發生土石流時間為 2024 年 5 月，從望鄉山雨量站資料可知 2024 年 7 月 24 日至 7 月 25 日望鄉山雨量站資料得知有明顯超大豪雨，因此推測此次發生土石流之原因為

凱米颱風累積之降雨所產生，土砂由上游開始堆積至下方投 95 線，河道堆積範圍長約 300m，平均寬度約 20m，面積約 6,000m^2，平均堆積深度約 1m，堆積土方量約 6,000m^3；沖積扇堆積範圍長約 200m，平均寬度約 200m，面積約 40,000m^2，平均堆積深度約 1.5m，堆積土方量約 60,000m^3，總堆積土方量約 66,000m^3。



資料來源：國家災害防救科技中心，2024

圖 3-16 凱米颱風影響歷程及每日降雨分布



資料來源：農業部農村發展及水土保持署，2024

圖 3-17 投縣 DF206 土石流潛勢溪流凱米颱風堆積範圍

投縣 DF206 曾於 2023 年發生土石流，據當地居民提供資訊可得知 2024 年 5 月投縣 DF206 因豪雨再次發生土石流發生，使崩塌範圍擴大，清淤完成後，又因凱米颱風帶來之強降雨，沖刷舊有崩塌地，且於附近產生新生崩塌地，大量豐富之土砂料源加上此次颱風所帶來豪雨，再次爆發土石流，造成大量土砂流出，土砂沿支流河道向下游流動，並於與主流匯流處阻塞過路箱涵，淤埋左右兩岸民房及投 95 線路基流失。

經農業部農村發展及水土保持署推估土石流流出時間為 7 月 25 日凌晨 1 時，搭配圖 3-18 參考望鄉山雨量站凱米颱風歷史雨量組體圖，土石流災害發生時以前期降雨 ETR2 有效累積雨量為 348.5mm，發生時降雨強度為 22.5mm/hr。(交通部中央氣象署，2024)。

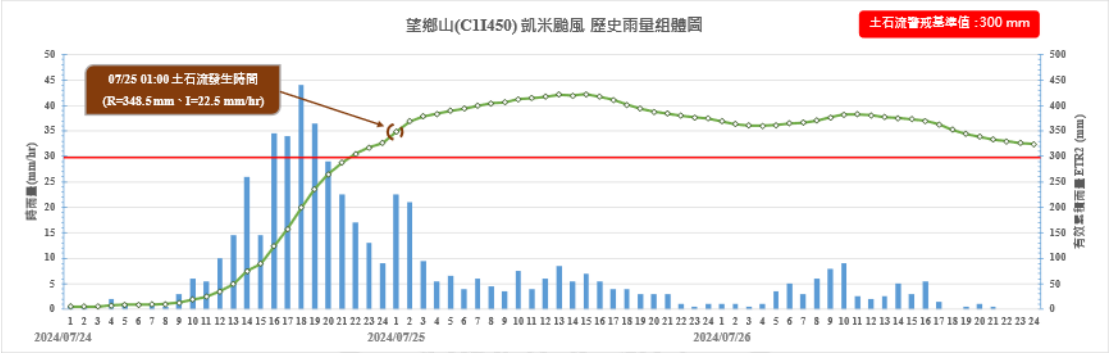
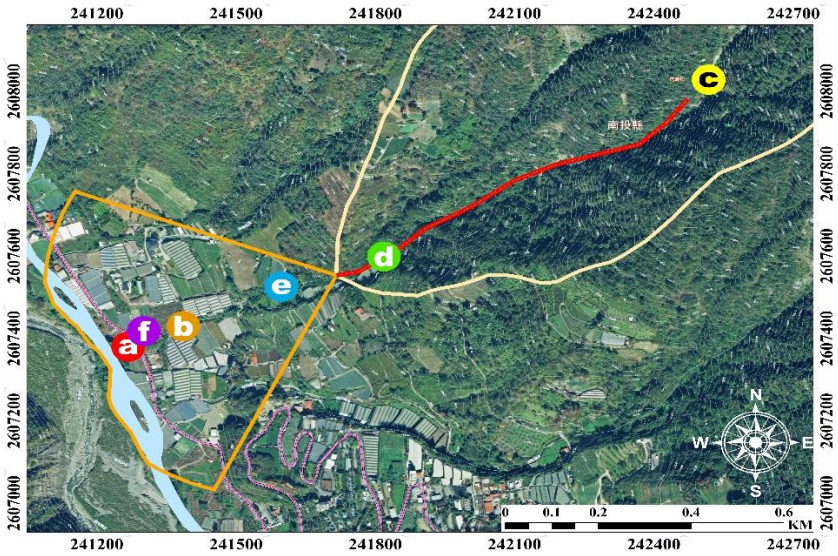


圖 3-18 望鄉山(C1I450)凱米颱風歷史雨量組體圖(本研究繪製)

由 2024 年 9 月 4 日現地調查可知投 95 線 4.3K 過路箱涵已完全堵塞淤埋，本研究經災害前箱涵照片瞭解後假設通洪長與高分別為 2m、2m(圖 3-19a)，經歷凱米颱風之投 95 線 4.3K 過路箱涵上游通道

土體堆積現況(圖 3-19b)、崩塌地空拍照(圖 3-19c)及崩塌現地實際勘查(圖 3-19d)可知現況仍存在崩塌風險，往後降雨將有可能使此兩處崩塌地再次發生土石流之情形。





a.投 95 線 4.3K 過路箱涵(下游)



b.投 95 線 4.3K 過路箱涵(上游)



c.崩塌地整體規模



d.崩塌地現況

	
e.堆積部現況	f.投 95 線旁受災民房現況

圖 3-19 投 95 線 4.3K 過路箱涵災後上下游情況 (2024 年 9 月 4 日)

本研究分析投縣 DF206 潛勢溪流集水區各重現期距與凱米颱風之清水流與土石流流量數據(表 3-9)，並檢視其下游經過投 95 線 4.3K 過路箱涵之斷面流量為 24m^3/s(表 3-10)。

本研究針對投 95 線 4.3K 過路箱涵所計算之清水流流況分析結果得知(表 3-11)，投 95 線 4.3K 過路箱涵通洪斷面流量 24m^3/s 皆大於重現期距 50 年、100 年之清水流流量為 20.91m^3/s 與 22.74m^3/s，各重現期距和降雨事件之清水流流量足夠穩定通過箱涵。

投縣 DF206 土石流潛勢溪流重現期距 50、100 年之土石流流量為 34.52m^3/s 與 37.54m^3/s，而凱米颱風之土石流流量為 14.75m^3/s。從分析結果得知，投 95 線 4.3K 過路箱涵斷面流量皆小於各重現期距之土石流流量。

綜合上述分析投 95 線 4.3K 過路箱涵符合投縣 DF206 土石流潛勢溪流重現期距 50 年、100 年清水流流量設計標準，若加以考慮土

石流流量條件，其箱涵則不符合重現期距 50 年、100 年土石流流量設計標準，且通洪斷面積以本研究假設之 2 m*2 m 之矩形箱涵，何況經資料查詢後，實際斷面為目測直徑 1m 之圓形涵管，其通洪斷面遠比假設之通洪斷面小。

本次凱米颱風影響時所帶來超大豪雨之之降雨資料可知降雨延時為 71hr、累積雨量為 535mm、最大降雨強度為 44mm/hr，因此推測此災害發生在這樣情況下足以發生土石流，鑑於此本研究研判原因為上游兩處新、舊崩塌地之土體過多導致材料豐富加上延時長之強降雨，使得產生複合型災害以致過路箱涵堵塞進而影響投 95 線、道路淤積、路基損毀流失、民房受損。本研究建議未來投 95 線 4.3K 過路箱涵通洪斷面設計可再加大加寬使土石流流量能更加安全通過、符合重現期距 50 年與 100 年設計標準，降低災害損失、維護人民生命財產安全。

表 3-9 投縣 DF206 土石流流量分析

土石流流量分析	投 95 線 4.3K 過路箱涵		
重現期距與颱風事件	50(年)	100(年)	凱米颱風 (2024 年)
清水流流量 Q_p (m^3/s)	20.91	22.74	8.93
土石流流量 Q_D (m^3/s)	34.52	37.54	14.75

表 3-10 投縣 DF206 通洪斷面檢討

排水構造物	尺寸(m)		最大流速 V (m/s)	清水流流量 Q_p (m^3/s)	構造物 Q_p > 重現期距/事件 Q_D				淤積深度 (m)
	溝底寬 w	通洪斷面最高水深 y			50 (年)	100 (年)	凱米 (2024 年)	現場	
投 95 線 4.3K 過路箱涵	2	2	6	24	否	否	是	否	5

表 3-11 DF206 不同重現期距之清水流流量

集流時間 t_c (min)	重現期距 T (年)	降雨強度 I (mm/hr)	清水流流量 Q_p (m^3/s)
12.0	10	83	16.85
	25	94	19.09
	50	103	20.91
	100	112	22.74

資料來源：BigGIS 巨量空間資訊系統，2024

表 3-12 DF206 災害事件降雨資料分析

颱風事件(年)	凱米颱風 (2024)
降雨延時(hr)	71
累積雨量(mm)	535
最大降雨強度(mm/hr)	44

(三) 投縣 DF185 土石流潛勢溪流

災害位置位於南投縣信義鄉明德村中平巷過路箱涵 DF185(圖 3-20)(TWD97-X:235998；Y:2623518)。流域所屬濁水溪流域，子集水溪為郡坑溪，溪流長度 11.733km，總面積 334.25ha。

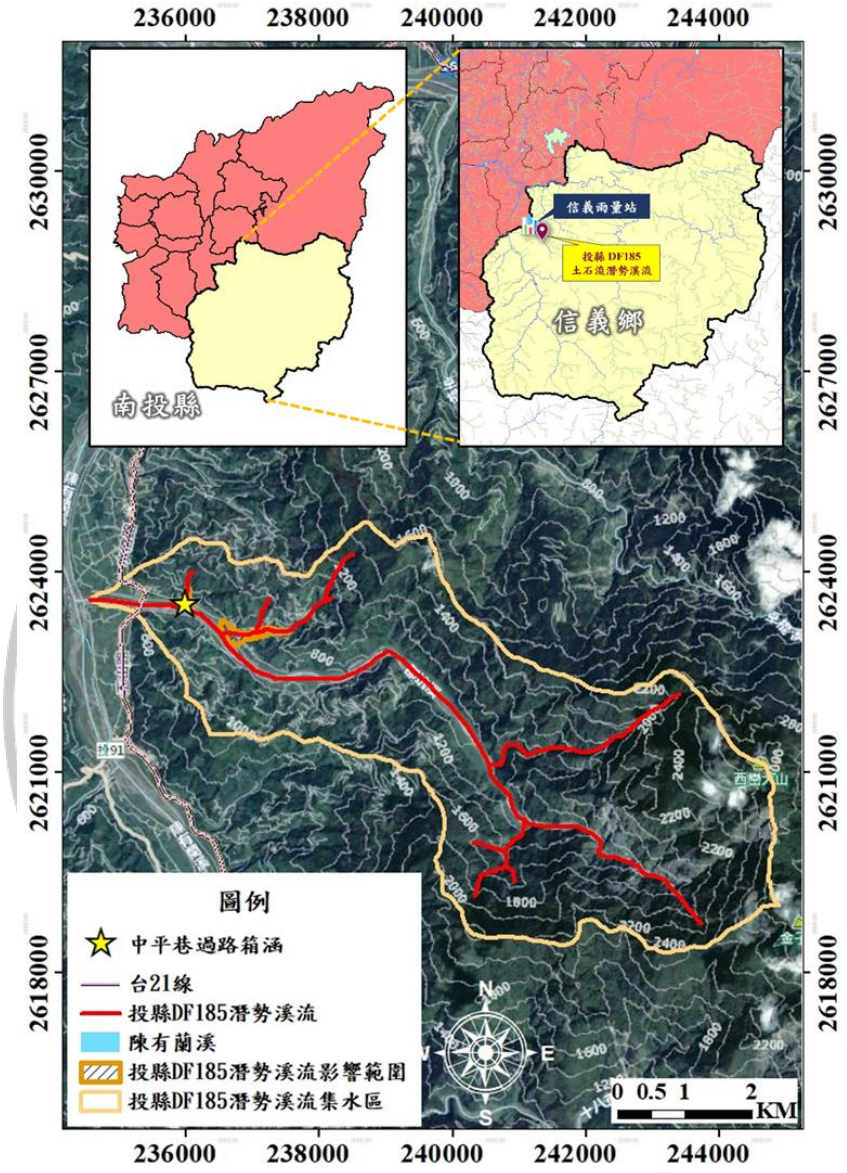
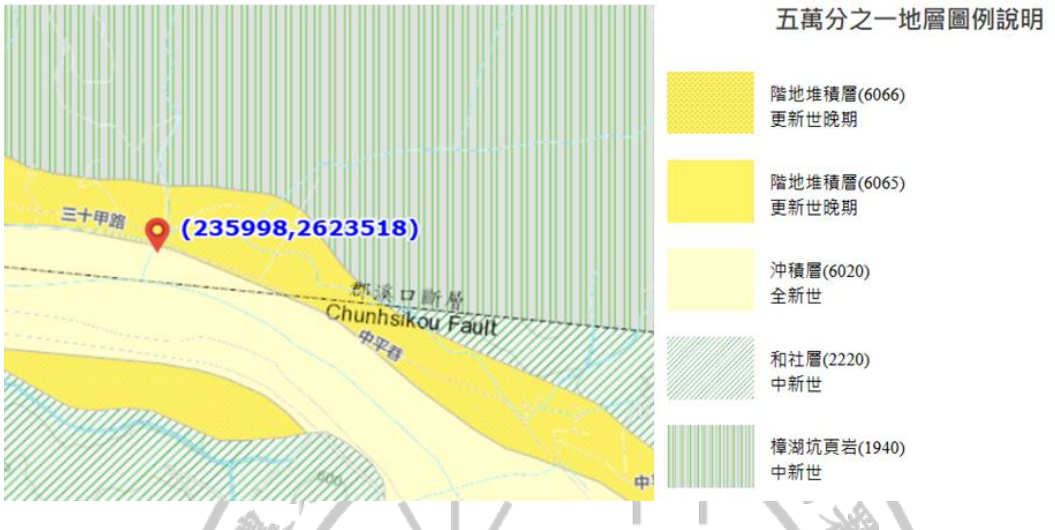


圖 3-20 中平巷過路箱涵 DF185 地理位置圖

土石流潛勢溪流投縣 DF185(以下簡稱投縣 DF185)發生區位地質階地堆積層，主要組成為砂礫、黏土及泥；上游地質為樟湖坑頁岩，

下游則是沖積層主要組成為砂、黏土及有機物質，災害區位鄰近郡溪口斷層(圖 3-21)，參考雨量站為信義雨量站(COI080)觀測，信義雨量站平均年降雨量約為 2,500，土石流警戒基準值 300mm，降雨集中在夏秋季的颱風及梅雨季節。



資料來源：經濟部地質調查及礦業管理中心，2024

圖 3-21 投縣 DF185 潛勢溪流地質圖

2024 年 7 月受到凱米颱風的影響，因凱米颱風及其外圍環流與後續西南風旺盛水氣影響帶來之強降雨沖刷舊有崩塌地，並引發土石流(圖 3-22)。土砂在大量沖刷下隨水流而下，發生溢流現象，淤埋了中平巷一帶，涵蓋了產業道路、周圍農地，導致投縣 DF185 中平巷過路箱涵嚴重阻塞(圖 3-23)。此次土石堆積範圍相當大，堆積長度延伸約 120m，寬度則介於 40 至 120m 之間，覆蓋的面積達到約 7,000m^2。平均堆積深度達到約 2m，總土方量估算約為 14,000m^3。



資料來源：農業部農村發展及水土保持署，2024

圖 3-22 投縣 DF185 土石流潛勢溪流上游舊崩塌地位置



資料來源：農業部農村發展及水土保持署，2024

圖 3-23 投縣 DF185 土石流潛勢溪流凱米颱風堆積範圍

經農業部農村發展及水土保持署推估土石流流出時間為 7 月 25 日上午 7 時，搭配圖 3-24 參考信義雨量站凱米颱風歷史雨量組體圖，土石流災害發生時以前期降雨 ETR2 有效累積雨量為 518.2mm，發生

時降雨強度為 6.5mm/hr(交通部中央氣象署，2024)。

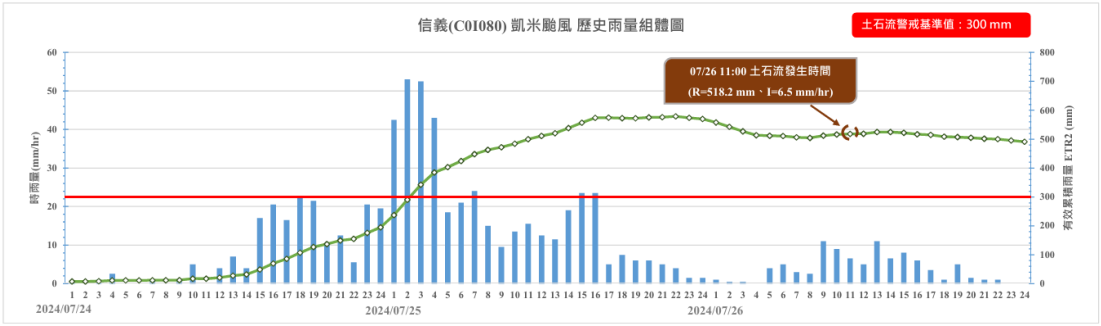


圖 3-24 信義(C0I080)凱米颱風歷史雨量組體圖(本研究繪製)

中平巷過路箱涵通洪長寬高分別為 6.45m、7.71m、1.74m，橋厚 0.47m(圖 3-25)，在清淤過程於 2024 年 9 月 4 日經現場調查，堆積區附近的建物也受到土石流沖刷(圖 3-25b)，滲流到建物前道路上(圖 3-29c)，也可以清楚的看到發生區、流動區、堆積區，位於流動區堆積坡度為 21.6°(圖 3-25d)，堆積區堆積坡度為 6°(圖 3-25e)。



圖 3-25 中平巷過路箱涵尺寸圖(2024 年 9 月 4 日)





a.DF185 箱涵



b.土石流發生區



c.沖刷到附近居民建物前道路



d.土石流堆積區



e.土石流流動區



f.土石流發生區

圖 3-26 中平巷過路箱涵上中下游土石流堆積現況

本研究分析投縣 DF185 潛勢溪流集水區各重現期距與 2024 年凱米颱風降雨事件之清水流與土石流流量數據(表 3-13)，並檢視其下游經過中平巷過路箱涵之斷面流量為 67.34m^3/s(表 3-14)。

本研究針對中平巷過路箱涵所計算之清水流流況分析結果得知(表 3-15)，中平巷過路箱涵通洪斷面流量 67.34m^3/s 皆大於重現期距 50 年、100 年之清水流流量為 5.53m^3/s 與 5.97m^3/s，各重現期距和降雨事件之清水流流量足夠穩定通過箱涵。

投縣 DF185 土石流潛勢溪流重現期距 50、100 年之土石流流量為 6.59m^3/s 與 7.11m^3/s，而 2024 年凱米颱風之土石流流量為 3.43m^3/s。從分析結果得知，中平巷過路箱涵斷面流量皆大於且滿足各重現期距和降雨事件之土石流流量。

綜合上述分析，中平巷過路箱涵符合投縣 DF185 土石流潛勢溪流重現期距 50 年、100 年清水流流量設計標準，若加以考慮土石流流量條件，其箱涵仍然符合重現期距 50 年、100 年土石流流量設計

標準，但 2024 年凱米颱風導致中平巷過路箱涵發生淤積災情，主要原因可能是上游的舊崩塌地在頻繁的豪大雨影響下，不斷產生土砂，並持續堆積。土砂累積至一定程度後，隨著颱風期間的強降雨被沖刷下來，導致下游的箱涵無法承受大量土砂，最終形成淤埋。本次凱米颱風影響時所帶來豪雨之降雨量為 713mm、降雨延時長達 61hr、最大降雨強度達 53.0mm/hr(表 3-16)，使得土砂量體直接大量傾洩而下到堆積區段中平巷過路箱涵以及居民住家中，影響建物前方道路及附近居民安全。

表 3-13 投縣 DF185 土石流流量分析

土石流流量分析	中平巷過路箱涵		
重現期距與颱風事件	50(年)	100(年)	凱米 (2024 年)
清水流流量 Q_p (m^3/s)	5.53	5.97	2.88
土石流流量 Q_D (m^3/s)	6.59	7.11	3.43

表 3-14 投縣 DF185 通洪斷面檢討

排水構造物	尺寸(m)		最大流速 V (m/s)	清水流流量 Q_p (m^3/s)	構造物 Q_p > 重現期距/事件 Q_D				淤積深度 (m)
	溝底寬 w	通洪斷面最高水深 y			50 (年)	100 (年)	凱米 (2024 年)	現場	
中平巷過路箱涵	6.45	1.74	6	67.34	是	是	是	否	4.1

表 3-15 投縣 DF185 不同重現期距之清水流流量

集流時間 t_c (min)	重現期距 T (年)	降雨強度 I (mm/hr)	清水流流量 Q_p (m^3/s)
10.65	10	81	4.40
	25	93	5.05
	50	102	5.54
	100	110	5.97

資料來源：BigGIS 巨量空間資訊系統，2024

表 3-16 投縣 DF185 災害事件降雨資料分析

颱風事件(年)	凱米(2024)
降雨延時(hr)	61
累積雨量(mm)	713
最大降雨強度(mm/hr)	53.0

四、嘉縣DF051土石流潛勢溪流

災害位置位於嘉義縣中埔鄉中崙村嘉縣 141 縣道 10K+250 過路箱涵(圖 3-27)(TWD97-X：205412；Y：2585545)。流域所屬八掌溪流域，子集水區為中崙流域，支流集水區總面積 21ha，集水區最大高差 547m，溪流長度 0.58km、高程平均 535.5m、坡度平均為 39°。

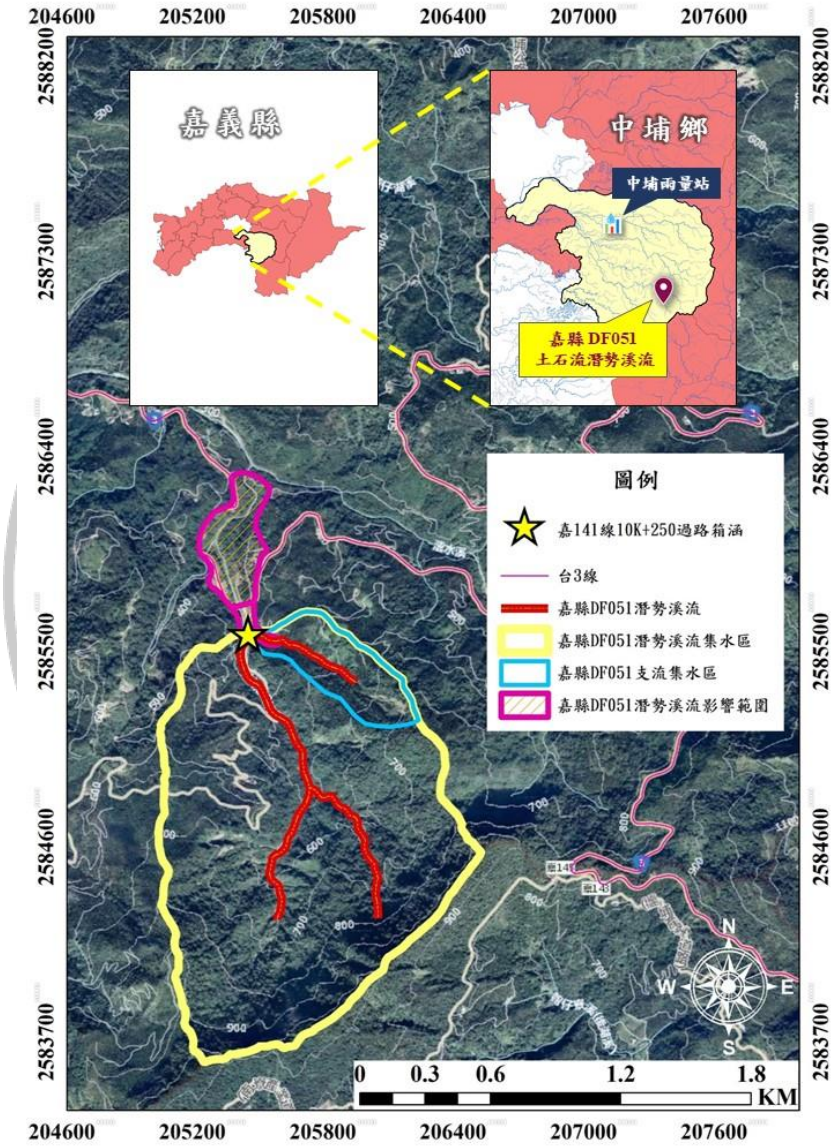
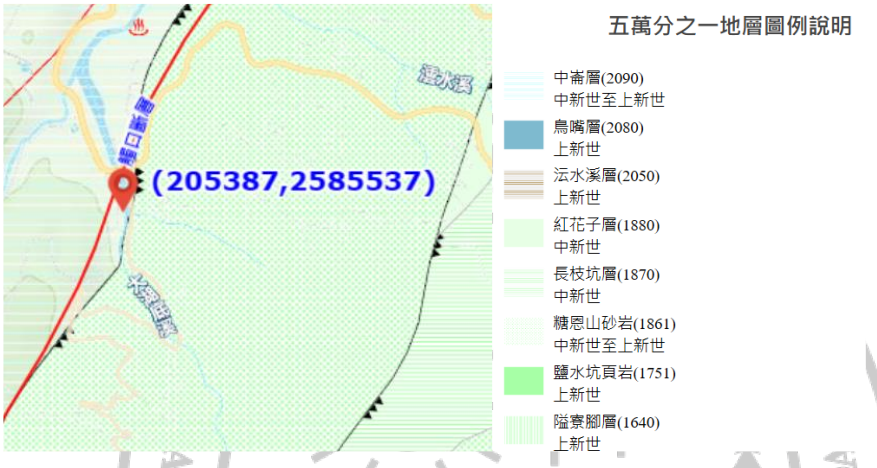


圖 3-27 嘉縣 141 縣道 10K+250 過路箱涵地理位置

嘉義縣土石流潛勢溪流支流嘉縣 DF051(以下簡稱嘉縣 DF051)發

生區位上游地質皆屬三峽群之砂岩、頁岩互層，遇水易沿不同層理產生崩解而滑落。(農業部農村發展及水土保持署，2024)；災害區位鄰近觸口斷層及崙後斷層(圖 3-28)(經濟部地質調查及礦業管理中心，2024)。參考雨量站為中埔雨量站(C0M640)，平均年雨量 2,301mm，土石流警戒基準值 300mm，降雨主要集中在 5 月至 9 月雨季期間，其主要來源包括梅雨季和颱風(交通部中央氣象署，2024)。



資料來源：經濟部地質調查及礦業管理中心，2024

圖 3-28 嘉縣 DF051 潛勢溪流地質圖

本次現地調查時間為 2024 年 9 月 5 日，經現地居民提供資訊得知嘉縣 DF051 最近一次發現土石流時間為 2024 年 8 月 27 日，從中埔雨量站資料(圖 3-29)可知 2024 年 8 月 24 日、8 月 25 日、8 月 26 日三日具有明顯降雨，因此推測此次發生土石流之原因為 8 月 24 至 26 日累積之降雨使山體緩慢崩落至河道並在 26 日發生土石流。

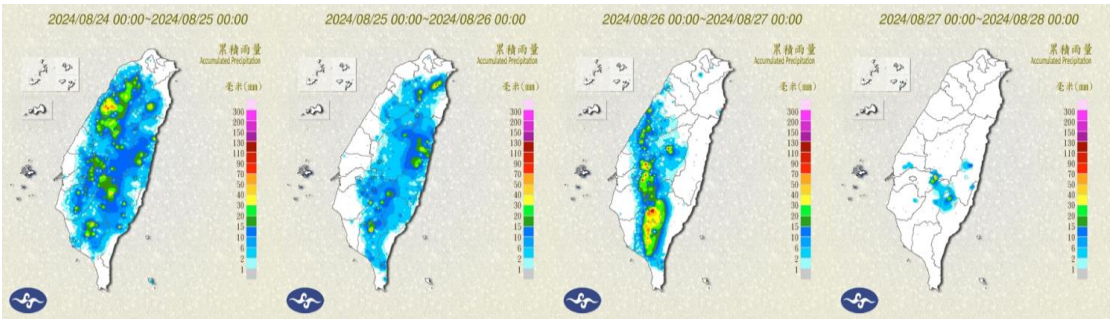


圖 3-29 0826 連日午後雷雨每日降雨分布

據當地居民提供資訊可知約在 7~8 年前嘉縣 DF051 就開始有土石流發生但還沒那麼嚴重，近年來坍方面積越來越大，現有累積資料次數為 5 次，其中包含 2019 年 8 月 13 日利奇馬颱風、2019 年 8 月 15 日豪雨、2023 年 9 月 10 日午後短延時強降雨、2024 年 6 月 7 日連日午後雷雨、2024 年 8 月 26 日連日午後雷雨。

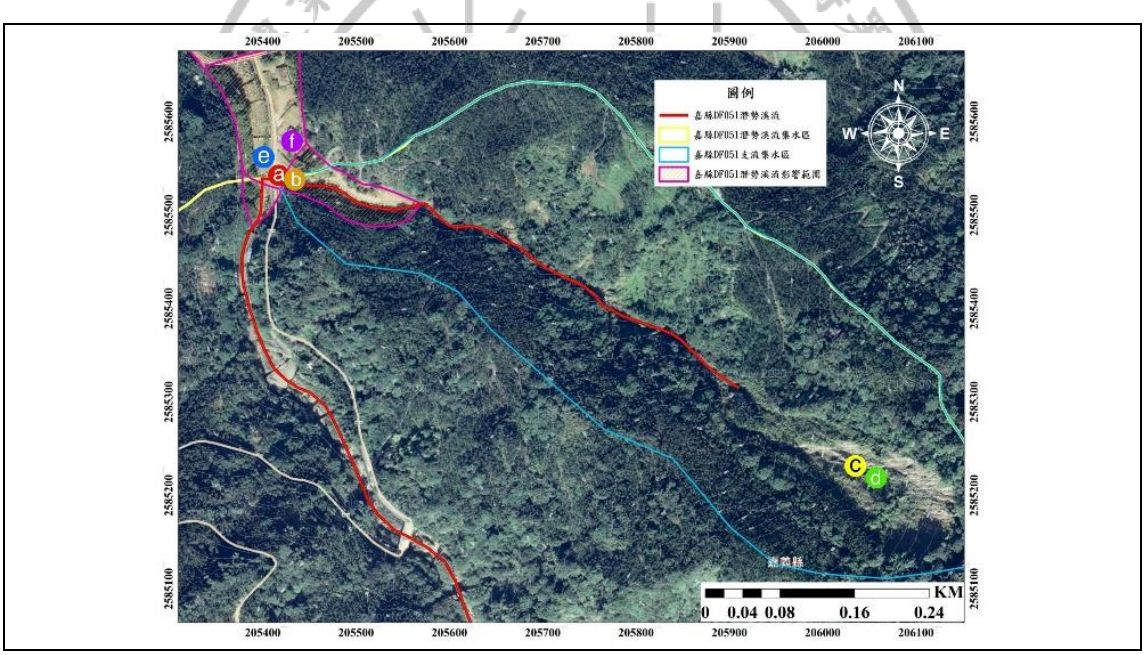
嘉縣 DF051 於 2023 年上游已發生崩塌，由於植生尚未恢復，又經歷 2024 年 6 月 7 日土石流加上本次連日降雨，造成嘉縣 DF051 再次爆發土石流，土砂沿支流河道向下游流動，並在與主流匯流處阻塞過路箱涵，因而溢流及堆積於嘉 141 線及台 3 線，且使台 3 線道路邊溝淤積。堆積區範圍長約 100m，最大寬度約 90m，面積約 3544.6m^2，平均堆積深度約 1m，堆積量體約 3544.63m^3。6 月 7 日之土石流造成嘉 141 縣旁 1 棟民房前庭遭土砂淤埋並且在此次土石流再次造成災害(農業部農村發展及水土保持署，2024)。

利用中埔雨量站(C0M640)0826 連日午後雷雨歷史雨量組體圖(圖 3-30)可以推測本事件實際發生土石流之時段應為 8 月 26 日 16:00。



圖 3-30 0826 連日午後雷雨歷史雨量組體圖

2024 年 9 月 5 日調查可知嘉縣 141 縣道 10K+250 過路箱涵通洪長寬高分別為 8m、15m、2.5m(圖 3-31a)，經歷 2024 年 8 月 26 日之土石流箱涵上游通道堵塞(圖 3-31b)，崩塌地空拍照(圖 3-31c)與崩塌現地實際勘查(圖 3-31d)可知目前情況下依然存在大量材料未崩塌，之後降雨將皆有可能使此崩塌地繼續發生土石流。





a.嘉縣 141 縣道 10K+250 過路箱涵(下游)



b.嘉縣 141 縣道 10K+250 過路箱涵(上游)



c.崩塌地整體規模



d.崩塌地現況



e.大湖底溪淤積情形



f.受災民房現況

圖 3-31 嘉縣 141 縣道 10K+250 過路箱涵上下游情況(2024 年 9 月)

本研究分析嘉縣 DF051 潛勢溪流集水區各重現期距與 0826 連日午後雷雨(2024)之清水流與土石流流量數據(表 3-17)，並檢視其下游經過嘉縣 141 縣道 10K+250 過路箱涵之斷面流量為 120m^3/s(表 3-18)。

本研究針對嘉縣 141 縣道 10K+250 過路箱涵所計算之清水流流況分析結果得知(表 3-19)，嘉縣 141 縣道 10K+250 過路箱涵通洪斷面流量 120m^3/s 皆大於重現期距 50 年、100 年之清水流流量為 5.36m^3/s 與 5.58m^3/s，各重現期距和降雨事件之清水流流量足夠穩定通過箱涵。

嘉縣 DF051 土石流潛勢溪流重現期距 50、100 年之土石流流量為 6.93m^3/s 與 7.57m^3/s，而 0826 連日午後雷雨(2024)之土石流流量為 0.99m^3/s。從分析結果得知，嘉縣 141 縣道 10K+250 過路箱涵斷面流量皆大於且滿足各重現期距和降雨事件之土石流流量。

綜合上述分析嘉縣 141 縣道 10K+250 過路箱涵符合嘉縣 DF051 土石流潛勢溪流重現期距 50 年、100 年清水流流量設計標準，若加以考慮土石流流量條件，其箱涵仍然符合重現期距 50 年、100 年土石流流量設計標準。

事件發生之降雨資料可知降雨延時為 3hr、累積雨量為 27.5mm、最大降雨強度為 15.5mm/hr，因此推測此事件發生不足以發生土石流，但 0826 連日午後雷雨卻發生土石流導致箱涵、嘉縣 141 縣道與台 3 線淤埋災情，本研究研判原因為上游舊崩塌地之土體過多導致材料豐富加上連續性的降雨及多次事件串聯，使得率先崩落之土體還未清除加上長時間慢慢累積以致過路箱涵堵塞進而影響嘉縣 141 縣道、台三線泥流、民房受損、大湖底溪淤積。

表 3-17 嘉縣 DF051 土石流流量分析

土石流流量分析	嘉縣 141 縣道 10K+250 過路箱涵		
重現期距與颱風事件	50(年)	100(年)	0826 連日午後雷雨 (2024 年)
清水流流量 Q_P (m^3/s)	5.36	5.85	0.77
土石流流量 Q_D (m^3/s)	6.93	7.57	0.99

表 3-18 嘉縣 DF051 通洪斷面檢討

排水構造物	尺寸(m)		最大流速 V (m/s)	清水流流量 Q_p (m^3/s)	構造物 Q_p > 重現期距/事件 Q_D				淤積深度 (m)
	溝底寬 w	通洪斷面最高水深 y			50 (年)	100 (年)	0826 連日午後雷雨 (2024 年)	現場	
嘉縣 141 縣道 10K+250 過路箱涵	8	2.5	6	120	是	是	是	否	4

表 3-19 DF051 不同重現期距之清水流流量

集流時間 t_c (min)	重現期距 T (年)	降雨強度 I (mm/hr)	清水流流量 Q_p (m^3/s)
12	10	87	4.31
	25	99	4.91
	50	108	5.36
	100	118	5.85

資料來源：BigGIS 巨量空間資訊系統，2024

表 3-20 嘉縣 DF051 災害事件降雨資料分析

颱風事件(年)	0826 連日午後雷雨 (2024)
降雨延時(hr)	3
累積雨量(mm)	27.5
最大降雨強度(mm/hr)	15.5

五、屏縣DF003&尾寮排水

災害位置位於屏東縣高樹鄉新豐休閒農業區東側(圖 3-32)，流經青龍山不動寺園區內，溪流與沿山公路之交會點坐標為(TWD97-X：213183；Y：2529137)。流域所屬高屏溪流域，子集水區為高樹流域，集水區總面積 14ha，集水區最大高差 430m，溪流長度 0.66km、高程平均 265.5m、坡度平均為 32°。

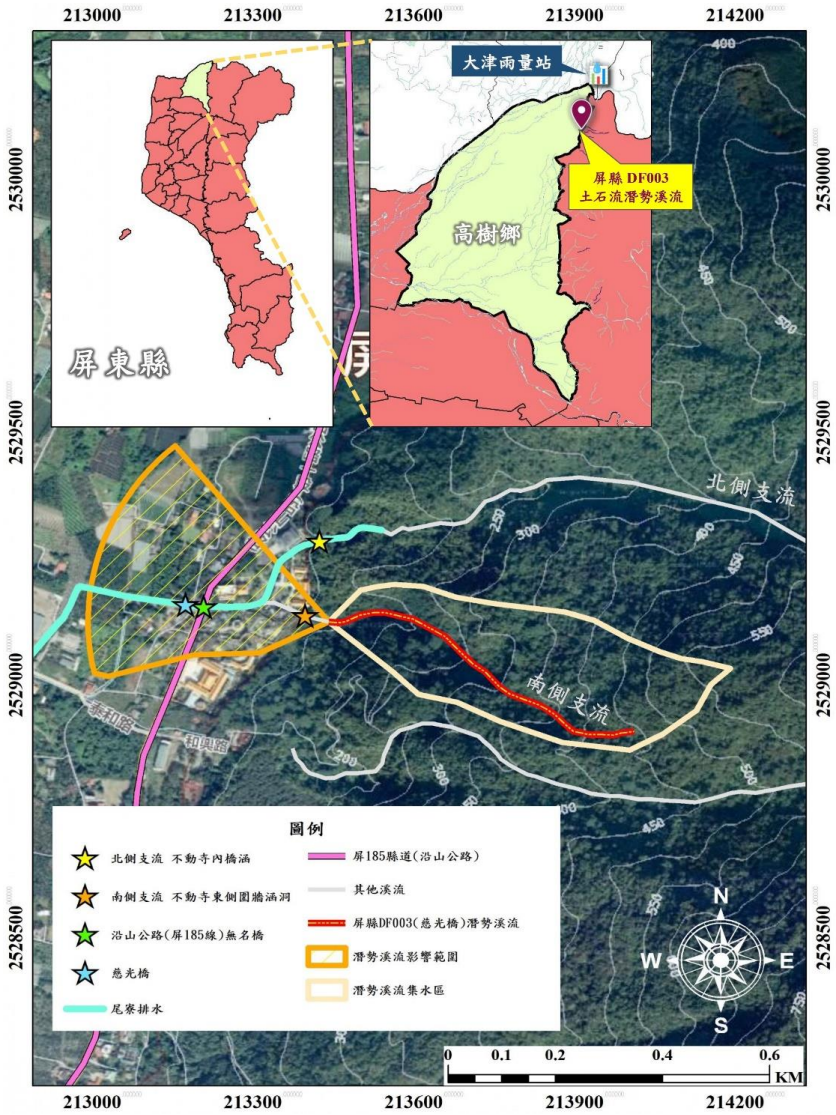


圖 3-32 屏縣 DF003 土石流潛勢溪流與尾寮排水地理位置

屏東縣土石流潛勢溪流屏縣 DF003(以下簡稱屏縣 DF003)發生區位地質及上游集水區地質皆屬出露潮州層，主要組成為硬頁岩與輕度變質的板岩，集水區北側有茂林斷層通過，為向北傾斜之逆斷層(圖 3-33)(經濟部地質調查及礦業管理中心，2024)。參考雨量站為大津雨量站(C1V340)，平均年雨量 3,022.3mm，土石流警戒基準值 550mm，降雨主要集中在 5 月至 9 月雨季期間，其主要來源包括梅雨季和颱風(交通部中央氣象署，2024)。

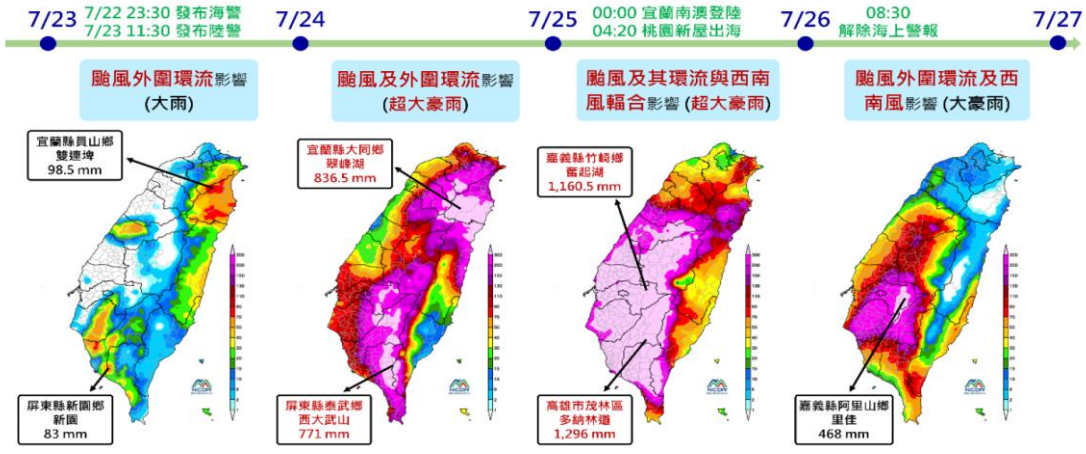


資料來源：經濟部地質調查及礦業管理中心，2024

圖 3-33 屏縣 DF003 潛勢溪流地質圖

2024 年 7 月下旬屏縣 DF003 因凱米颱風及其外圍環流與後續西南風旺盛水氣影響(圖 3-34)帶來之強降雨，本地區兩條野溪支流因強降雨沖刷上游集水區崩塌地引發土石流，北側支流為野溪連接尾寮排水，南側支流為屏縣 DF003 土石流潛勢溪流，北側支流發生土砂淤滿尾寮排水構造物下方排水道後溢流至兩岸，土砂流入青龍山不動寺

園區內建物與步道；南側支流發生土砂淤滿潛勢溪流河道並堵塞不動寺園區東側圍牆下方涵洞，導致土砂溢流至不動寺南側住戶家中，甚至溢流流經過沿山公路(185 縣道)道路上；而在南側支流不動寺園區東側圍牆下方涵洞未堵塞之情況下，會流入主流的排水溝－尾寮排水，兩支流匯流後會流向沿山公路，尾寮排水主流流經不動寺園區內、沿山公路(185 縣道)無名橋與和興路慈光橋兩座橋梁，兩座橋梁在本次災害過程中，沿山公路(185 縣道)無名橋其溪流水位接近通洪高度，也因南側支流溢流流經沿山公路(185 縣道)無名橋造成橋面有積淹水情形、側溝能使水流入溪流的面積有限且當下泥流流速快並無法使泥流順利流入側溝而是持續往下游慈光橋附近道路流動；在相隔 10 公尺的慈光橋在本次災害過程溪流水位維持在高水位狀態，泥流溢流至慈光橋下游附近後再流入尾寮排水中下游段。



資料來源：國家災害防救科技中心，2024

圖 3-34 凱米颱風影響歷程及每日降雨分布

從當地居民的說法發現土石流流出時間為 7 月 25 日上午 9 時，搭配圖 3-35 參考大津雨量站凱米颱風歷史雨量組體圖，土石流災害發生時以前期降雨 ETR2 有效累積雨量為 696.1mm，發生時降雨強度為 75mm/hr(交通部中央氣象署，2024)。

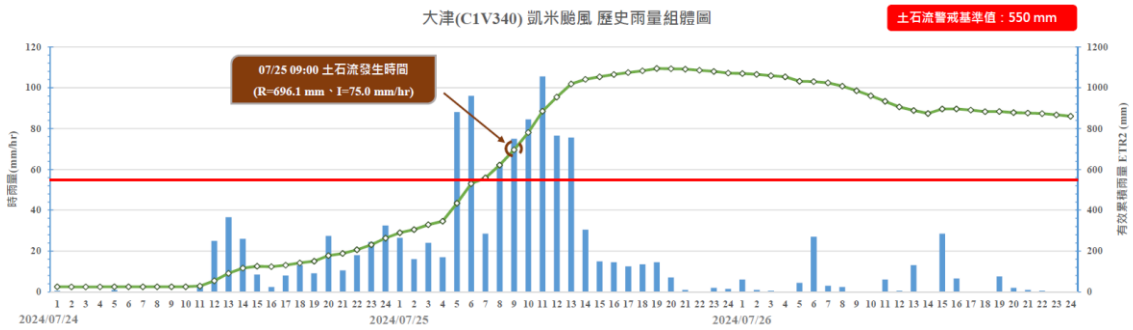
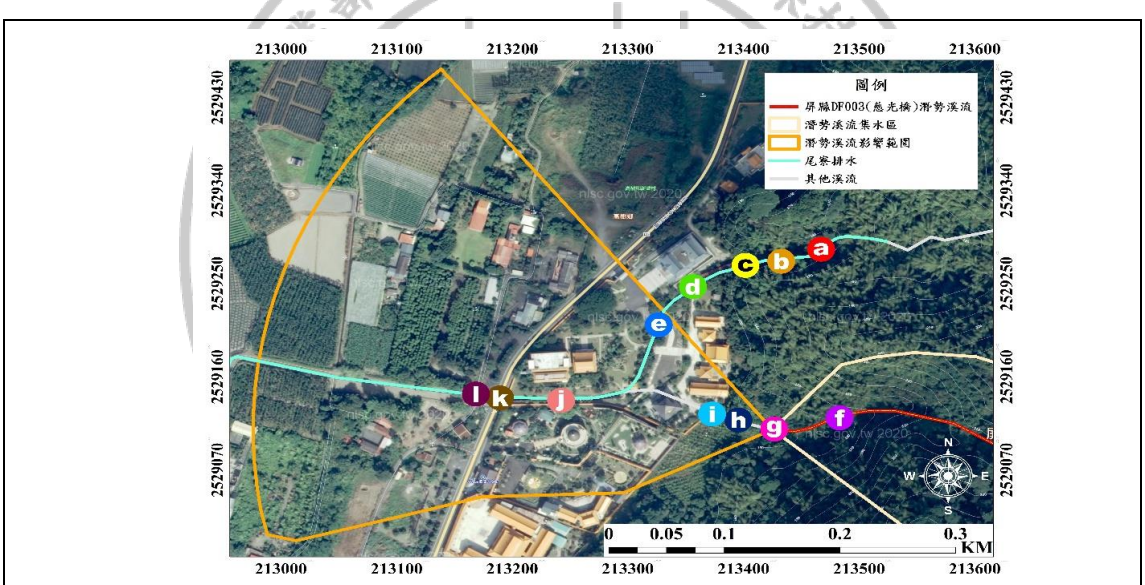
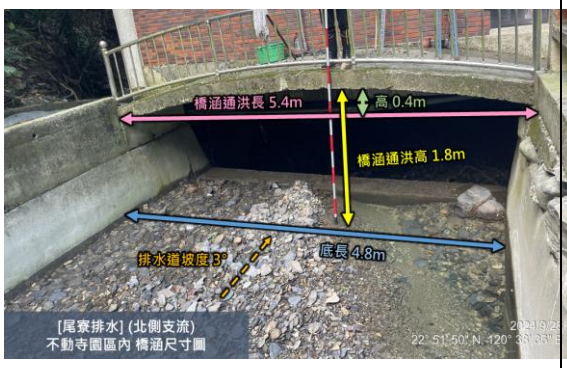


圖 3-35 大津(C1V340)凱米颱風歷史雨量組體圖(本研究繪製)







a.北側支流瀑布發現點	b.北側支流構造物
	
c.北側支流不動寺內橋涵	d.不動寺內橋涵下游
	
e.不動寺內尾寮排水	f.南側支流屏縣 DF003 發現瀑布
	
g.南側支流構造物	h.不動寺東側圍牆涵洞上游
	

i.南側支流不動寺東側圍牆涵洞	j.不動寺周邊住戶通道
	
k.沿山公路(185 縣道)無名橋	l.慈光橋

圖 3-36 屏縣 DF003 與尾寮排水災後情況(2024 年 9 月 28 日)

本研究分析屏縣 DF003 潛勢溪流與尾寮排水集水區各重現期距與 2024 年凱米颱風降雨事件之清水流與土石流流量數據(表 3-21)，並檢視其北側支流尾寮排水不動寺內橋涵之斷面流量為 48.84 m3/s 與南側支流屏縣 DF003 潛勢溪流不動寺東側圍牆涵洞之斷面流量為 19.5m3/s，而兩條支流所匯流之主流下游經過沿山公路無名橋之斷面流量為 40.5 m3/s 與慈光橋之斷面流量為 31.5 m3/s (表 3-22)。

本研究針對所計算之清水流流況分析結果得知(表 3-23)，北側支流不動寺內橋涵通洪斷面流量 48.84 m^3/s 皆大於重現期距 50 年、100 年之清水流流量為 23.11m^3/s 與 24.96m^3/s；南側支流不動寺東側圍牆涵洞通洪斷面流量 19.5m^3/s 皆大於重現期距 50 年、100 年之清水流流量為 3.99m^3/s 與 4.31m^3/s；而在兩支流匯流後之主流通過沿山公路無名橋與慈光橋通洪斷面流量，前者為 40.5m^3/s、後者為 31.5m^3/s 也皆大於重現期距 50 年、100 年之清水流流量，各重現期距和降雨事

件之清水流流量足夠穩定通過箱涵。

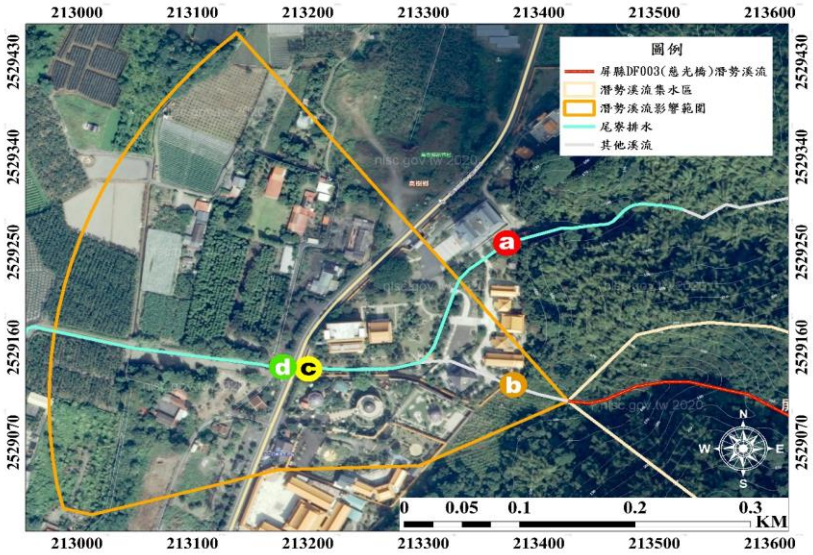
北側支流重現期距 50、100 年之土石流流量為 23.11m^3/s 與 24.96m^3/s，而 2024 年凱米颱風之土石流流量為 21.76m^3/s；南側支流屏縣 DF003 土石流潛勢溪流重現期距 50、100 年之土石流流量為 4.31m^3/s 與 4.65m^3/s，2024 年凱米颱風之土石流流量為 4.06m^3/s。從分析結果得知，北側支流不動寺內橋涵與南側支流不動寺東側圍牆涵洞斷面流量皆大於且滿足各重現期距和降雨事件之土石流流量，而在匯流後主流所經過之沿山公路無名橋重現期距 50、100 年之土石流流量為 29.81m^3/s 與 32.2m^3/s，2024 年凱米颱風之土石流流量為 28.08m^3/s；慈光橋重現期距 50、100 年之土石流流量為 29.83m^3/s 與 32.23m^3/s，2024 年凱米颱風之土石流流量為 28.1m^3/s。從分析結果得知，沿山公路無名橋斷面流量皆大於且滿足各重現期距和降雨事件之土石流流量，而慈光橋斷面流量大於重現期距 50 年與降雨事件之土石流流量，不過小於重現期距 100 年之土石流流量。

綜合上述分析，四座橋梁與涵洞其通洪符合屏縣 DF003 土石流潛勢溪流重現期距 50 年、100 年清水流流量設計標準，若加以考慮土石流流量條件，慈光橋符合重現期距 50 年與降雨事件之土石流流量設計標準，但未符合重現期距 100 年土石流流量設計標準；北側支流不動寺內橋涵、南側支流不動寺東側圍牆涵洞及沿山公路無名橋皆

符合重現期距 50 年、100 年與降雨事件土石流流量設計標準，而就本次 2024 年凱米颱風所導致北側支流不動寺內橋涵與南側支流屏縣 DF003 潛勢溪流不動寺東側圍牆涵洞排水道堆積堵塞災情，本研究研判原因為上游崩塌地之土體因凱米颱風帶來超大豪雨之降雨量為 1,244mm、降雨延時長長達 70hr、最大降雨強度達 105.5mm/hr(表 3-24)，使得上游發生 5 處新生崩塌地(圖 3-37)，兩條支流土砂量體大量堆積至橋涵與圍牆涵洞前，在主流尾寮排水呈現大量泥流通過而帶到下游段沿山公路無名橋與慈光橋，甚至在南側支流的涵洞因災害當下通洪面積被土砂堆積減小，造成泥流直接往南邊住戶走道一路往下游流動，進而影響到 185 縣道路面都有產生泥流流至道路旁排水溝之情形，影響 185 縣道交通安全(圖 3-38)。



圖 3-37 青龍山不動寺北側支流&南側支流上游新生崩塌地位置 (2024 年 9 月 28 日)





a.北側支流不動寺內橋涵



b.南側支流不動寺東側圍牆涵洞



c.沿山公路(185 縣道)無名橋



d.不動寺周邊住戶通道→慈光橋

資料來源：現場民眾提供

圖 3-38 屏縣 DF003 土石流潛勢溪流與尾寮排水土砂溢淹災時情況

表 3-21 屏縣 DF003 與尾寮排水土石流流量分析

土石流流量分析	北側支流 尾寮排水 不動寺內橋涵			南側支流 屏縣 DF003 不動寺東側圍牆涵洞		
重現期距與颱風事件	50(年)	100(年)	凱米 (2024 年)	50(年)	100(年)	凱米 (2024 年)
清水流流量Q_P (m^3/s)	21.42	23.14	20.18	3.99	4.31	3.76
土石流流量Q_D (m^3/s)	23.11	24.96	21.76	4.31	4.65	4.06
土石流流量分析	主流 尾寮排水 沿山公路無名橋			主流 尾寮排水 慈光橋		
重現期距與颱風事件	50(年)	100(年)	凱米 (2024 年)	50(年)	100(年)	凱米 (2024 年)
清水流流量Q_P (m^3/s)	26.82	28.97	25.26	26.84	29.0	25.28
土石流流量Q_D (m^3/s)	29.81	32.2	28.08	29.83	32.23	28.1

表 3-22 屏縣 DF003 與尾寮排水通洪斷面檢討

排水構造物	尺寸(m)					斷面流速 V (m/s)	清水流流量 Q_p (m^3/s)	構造物 Q_p > 重現期距/事件 Q_D				淤積深度 (m)
	溝寬	溝底寬 w	邊坡比 Z	通洪斷面最高水深 y	水深 y_1 (橢圓)			50 (年)	100 (年)	凱米	現場	
不動寺內橋涵	5.4	4.8	1.43	1.4	—	6	42.84	是	是	是	否	5.4
不動寺東側圍牆涵洞	2.9	2.1	1.36	1.3	—	6	19.5	是	是	是	否	2.6
沿山公路無名橋	—	4.5	—	1.5	—	6	40.5	是	是	是	是	0.5
慈光橋	—	4.5	—	0.5	1	6	31.5	是	否	是	是	0.5

表 3-23 屏縣 DF003 不同重現期距之清水流流量

集流時間t_c (min)	重現期距 T (年)	降雨強度 I (mm/hr)	清水流流量 Q_P (m^3/s)
23.7	10	89	3.17
	25	102	3.64
	50	112	3.99
	100	121	4.31

資料來源：BigGIS 巨量空間資訊系統，2024

表 3-24 屏縣 DF003 災害事件降雨資料分析

颱風事件(年)	凱米(2024)
降雨延時(hr)	70
累積雨量(mm)	1244
最大降雨強度(mm/hr)	105.5

農業部農村發展及水土保持署 Agency of Rural Development & Soil and Water Conservation, MOA

六、屏縣T113-3土石流

災害位置位於高樹鄉新豐村(龍助家)無極慈圓宮東側凹湖聚落無名橋涵(圖 3-39)，流經凹湖聚落，橋涵坐標為(TWD97-X：213471；Y：2529845)。屏縣 T113-3 土石流流域所屬高屏溪流域，子集水區為高樹流域，集水區總面積 19ha，集水區最大高差 486m，溪流長度 1.03km、高程平均 279.5m、坡度平均為 33°。

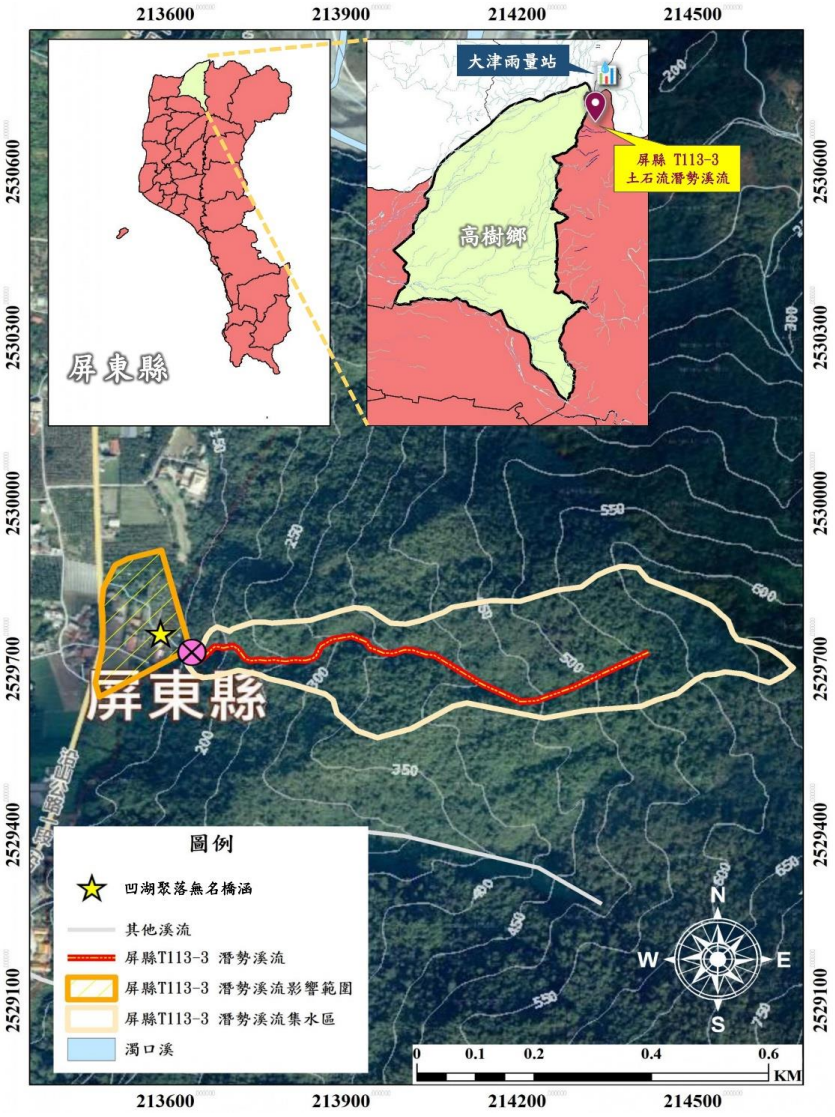
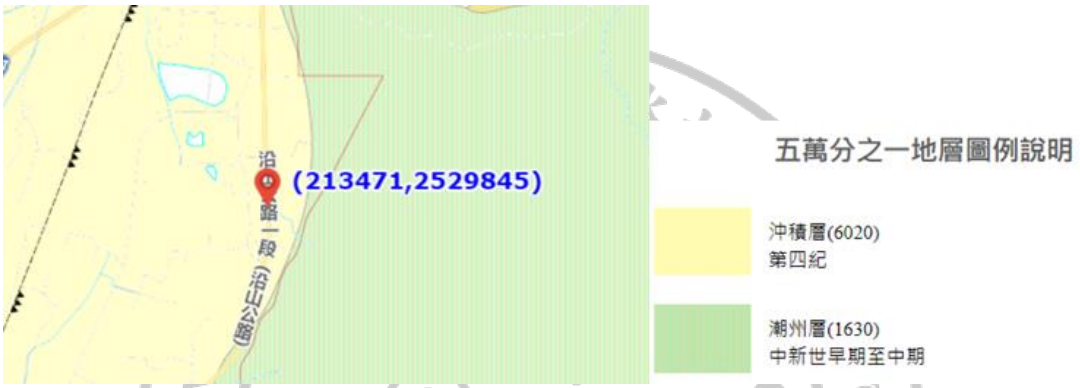


圖 3-39 屏縣 T113-3 土石流地理位置

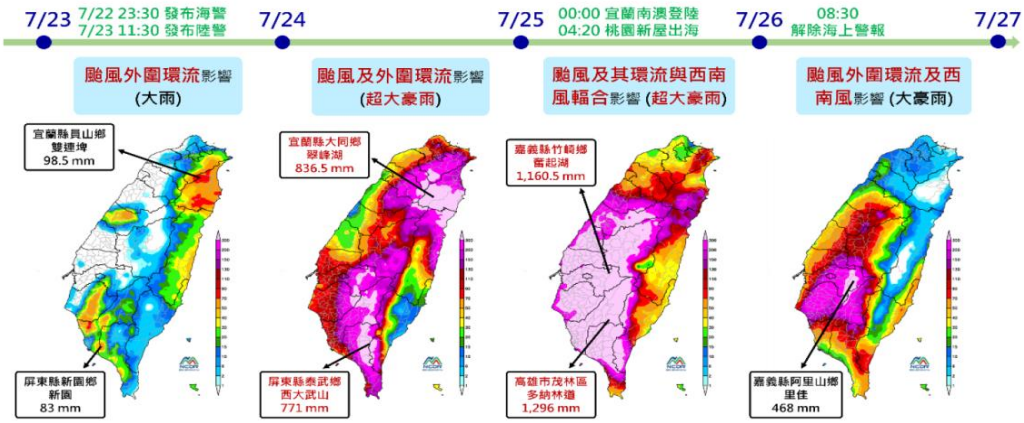
屏東縣土石流 T113-3(以下簡稱屏縣 T113-3)發生區位及上游集水區地質皆屬出露潮州層，主要組成為硬頁岩與輕度變質的板岩，集水區有茂林斷層通過，為向北傾斜之逆斷層(圖 3-40)(經濟部地質調查及礦業管理中心，2024)。參考雨量站為大津雨量站(C1V340)，平均年雨量 3,022.3mm，土石流警戒基準值 550mm，降雨主要集中在 5 月至 9 月雨季期間，其主要來源包括梅雨季和颱風(交通部中央氣象署，2024)。



資料來源：經濟部地質調查及礦業管理中心，2024

圖 3-40 屏縣 T113-3 土石流地質圖

2024 年 7 月下旬屏縣 T113-3 因凱米颱風及其外圍環流與後續西南風旺盛水氣影響(圖 3-41)帶來之強降雨沖刷集水區源頭出現至少兩處新生崩塌地引發土石流，土砂淤滿既有河道後溢流兩岸，土砂撞擊凹湖聚落住家建物，並淤埋凹湖聚落無名橋涵，且因土砂淤埋原河道，堆積範圍長約 180m，寬約 75m，面積約 10,000m^2，平均堆積深度約 1.2m，堆積土方量約 12,000m^3。



資料來源：國家災害防救科技中心，2024

圖 3-41 凱米颱風影響歷程及每日降雨分布

從當地居民的說法發現土石流流出時間為 2024 年 7 月 25 日上午 6 時，搭配圖 3-42 參考大津雨量站凱米颱風歷史雨量組體圖，土石流災害發生時以前期降雨 ETR2 有效累積雨量為 696.1mm，發生時降雨強度為 75mm/hr(交通部中央氣象署，2024)。

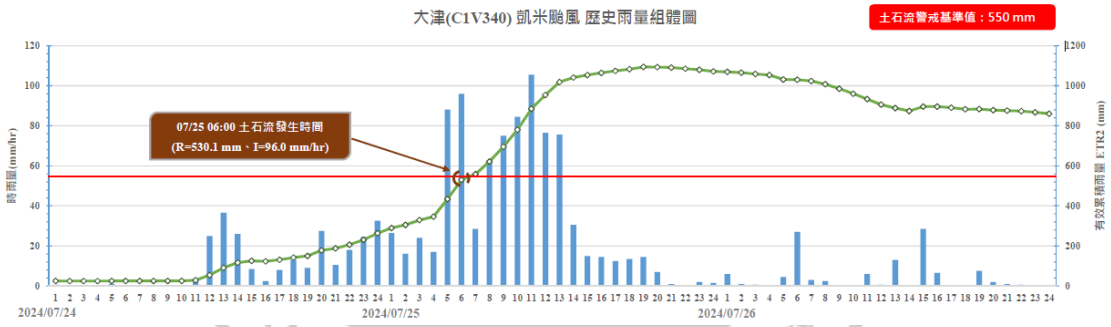


圖 3-42 大津(C1V340)凱米颱風歷史雨量組體圖(本研究繪製)

凹湖聚落無名橋涵通洪長、底長及高分別為 3.3m、3m、1.2m(圖 3-43、圖 3-44c)，在清淤後於 2024 年 9 月 28 日經現場調查，上游發現瀑布流水中(圖 3-44a)，河道橋涵淤滿後水流改道流至住戶建物周遭園區(圖 3-44b)，凹湖聚落房屋有受到土砂撞擊與土砂痕跡(圖

3-44d)，住家家中災時有土砂堆積(圖 3-44e)，而在住戶門口有泥流流向沿山公路(185 縣道)(圖 3-44f)。

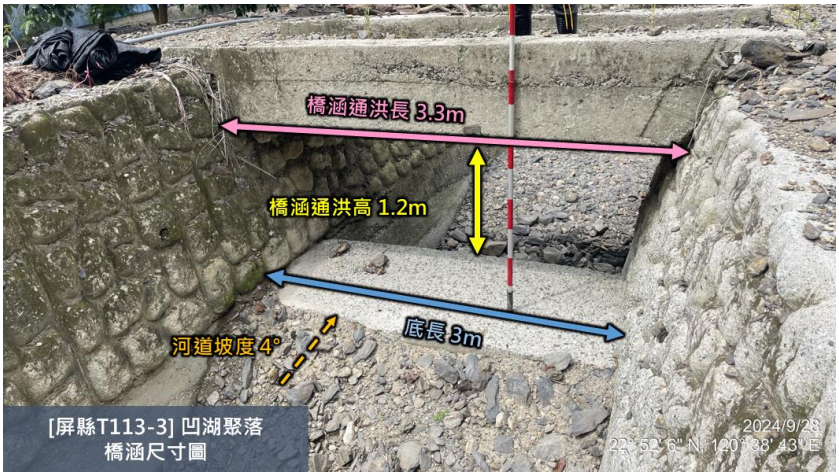
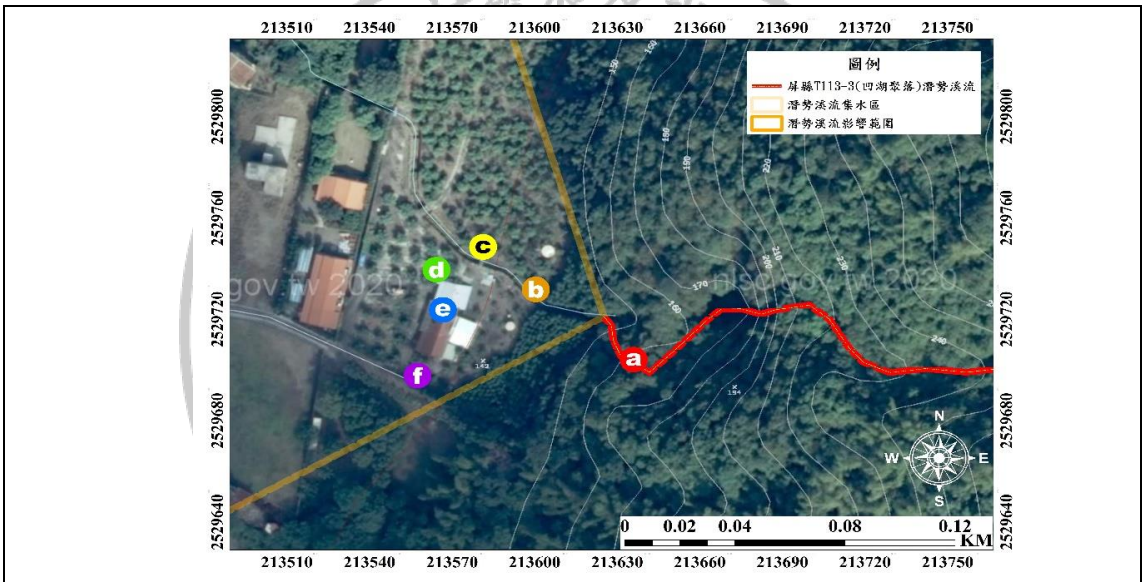


圖 3-43 凹湖聚落無名橋涵尺寸圖(2024 年 9 月 28 日)





a.瀑布發現點

b.構造物 兩岸土砂溢淹痕跡

	
c.凹湖聚落無名橋涵	d.下游居民住家土砂撞擊、溢淹痕跡
	
e.居民住家災時土砂堆積情形(07/26)	f.居民住家災時門口泥流情形(07/26)

圖 3-44 屏縣 T113-3 土石流災後情況(2024 年 9 月 28 日)

本研究分析屏縣 T113-3 集水區各重現期距與 2024 年凱米颱風降雨事件之清水流與土石流流量數據(表 3-25)，並檢視其下游經過凹湖聚落無名橋涵之斷面流量為 22.68m^3/s(表 3-26)。

本研究針對凹湖聚落無名橋涵所計算之清水流流況分析結果得知(表 3-27)，凹湖聚落無名橋涵通洪斷面流量 22.68m^3/s 皆大於重現期距 50 年、100 年之清水流流量為 5.02m^3/s 與 5.43m^3/s，各重現期距和降雨事件之清水流流量足夠穩定通過箱涵。

屏縣 T113-3 重現期距 50、100 年之土石流流量為 6.22m^3/s 與 6.72m^3/s，而 2024 年凱米颱風之土石流流量為 5.86m^3/s。從分析結果得知，凹湖聚落無名橋涵斷面流量皆大於且滿足各重現期距和降雨事件之土石流流量。

綜合上述分析，凹湖聚落無名橋涵符合屏縣 T113-3 重現期距 50 年、100 年清水流流量設計標準，若加以考慮土石流流量條件，其箱涵仍然符合重現期距 50 年、100 年土石流流量設計標準，不過 2024 年凱米颱風所導致山下的凹湖聚落無名橋淤埋災情且周遭土砂撞擊房屋外牆、屋內充滿泥濘土砂，本研究研判原因為上游新生崩塌地之土體大量土砂量體堆積，且於本次凱米颱風影響時所帶來超大豪雨之降雨量為 1,384mm、降雨延時長長達 72hr、最大降雨強度達 89.5mm/hr(表 3-28)，使得土砂量體直接大量傾洩而下帶到下游段凹湖聚落無名橋涵遭淤埋大量土砂堆積，影響山下凹湖聚落住家居住安全。

表 3-25 屏縣 T113-3 土石流流量分析

土石流流量分析	凹湖聚落無名橋涵		
重現期距與颱風事件	50(年)	100(年)	凱米 (2024 年)
清水流流量Q_P (m^3/s)	5.02	5.43	4.73
土石流流量Q_D (m^3/s)	6.22	6.72	5.86

表 3-26 屏縣 T113-3 土石流通洪斷面檢討

排水構造物	尺寸(m)				最大流速 V (m/s)	清水流流量 Q_p (m^3/s)	構造物 Q_p > 重現期距/事件 Q_D				淤積深度 (m)
	溝寬	溝底寬 w	邊坡比 z	通洪斷面最高水深 y			50 (年)	100 (年)	凱米 (2024年)	現場	
凹湖聚落無名橋涵	3.3	3	1.59	1.2	6	22.68	是	是	是	否	2.5

表 3-27 屏縣 T113-3 土石流不同重現期距之清水流流量

集流時間 t_c (min)	重現期距 T (年)	降雨強度 I (mm/hr)	清水流流量 Q_p (m^3/s)
23.7	10	89	3.99
	25	102	4.58
	50	112	5.02
	100	121	5.43

資料來源：BigGIS 巨量空間資訊系統，2024

表 3-28 屏縣 T113-3 土石流災害事件降雨資料分析

颱風事件(年)	凱米(2024)
降雨延時(hr)	70
累積雨量(mm)	1244
最大降雨強度(mm/hr)	105.5

七、高市E113-2土石流

災害位置位於高雄市茂林區茂林里情人谷無名過路橋涵(圖 3-45)(TWD97-X：215810；Y：2530599)。流域所屬高屏溪流域，集水區總面積 148ha，集水區最大高差 1,100m，溪流長度 1.5km、高程平均 805m、坡度平均為 37°。

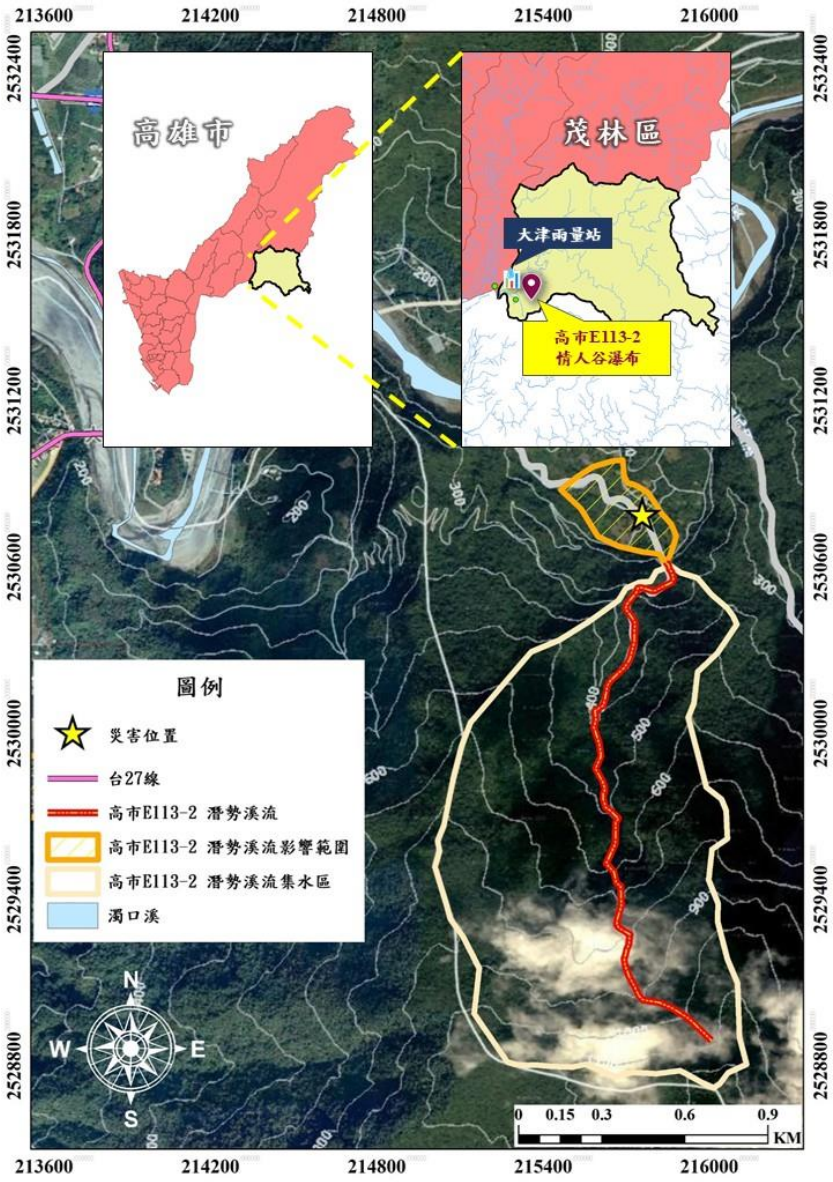


圖 3-45 高市 E113-2 土石流地理位置

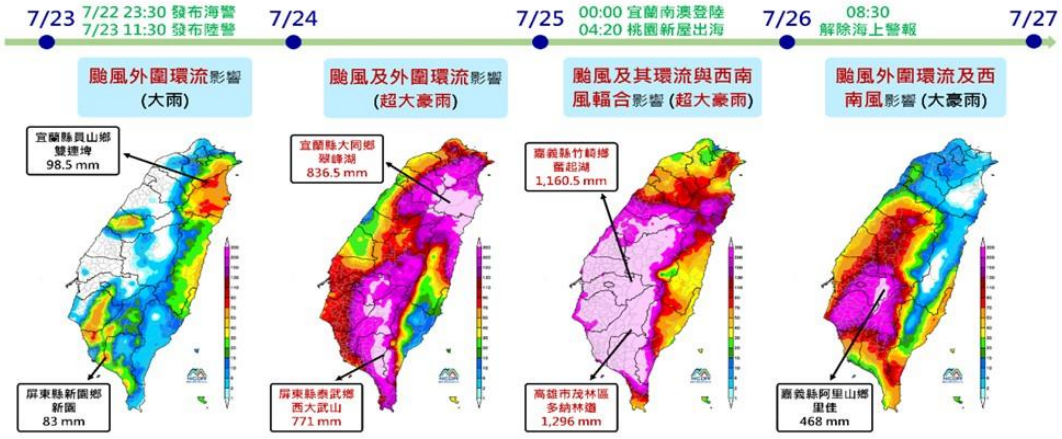
高市情人谷土石流之無名過路橋涵高市 E113-2(以下簡稱高市 E113-2)發生區位地質屬沖積層、潮州層，因為岩性膠結度較差，導致山區極常發生崩塌(經濟部地質調查及礦業管理中心，2024)。參考雨量站為大津雨量站(C1V340)，平均年雨量 3,022.3mm，降雨主要集中在 5 月至 9 月雨季期間，其主要來源包括梅雨季和颱風(交通部中央氣象署，2024)。



資料來源：經濟部地質調查及礦業管理中心，2024

圖 3-46 高市 E113-2 潛勢溪流地質圖

本研究現地調查時間為 2024 年 9 月 28 日，經現地居民提供資訊可知高市 E113-2 過去並未發生過如此規模之土石流，此次卻因凱米颱風造成土石流發生，從每日降雨分布資料(圖 3-47)可知 2024 年 7 月 23 日至 27 日有明顯降雨跡象，因此推測此次發生土石流之原因為 7 月 25 日之強降雨所產生。



資料來源：國家災害防救科技中心，2024

圖 3-47 凱米颱風影響歷程及每日降雨分布

高市 E113-2 於 2024 年 7 月 25 日因凱米颱風多日強降雨，使山區數十處發生大面積崩塌，而崩塌之大量土體加上多日豪雨，造成高市 E113-2 爆發土石流，土砂沿支流河道向下游流動，並在情人谷無名過路橋涵造成溢流及堆積、下游露營區遭土砂淤埋、房屋撞擊災害(農業部農村發展及水土保持署，2024)。

透過圖 3-48 參考大津雨量站凱米颱風歷史雨量組體圖可知土石流災害發生時降雨 ETR2 有效累積雨量為 530.1mm，發生時降雨強度為 96mm/hr，已達土石流警戒值。(交通部中央氣象署，2024)。

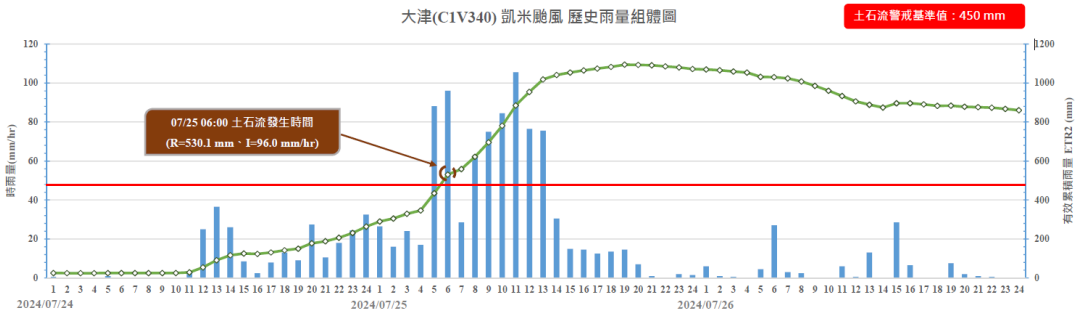
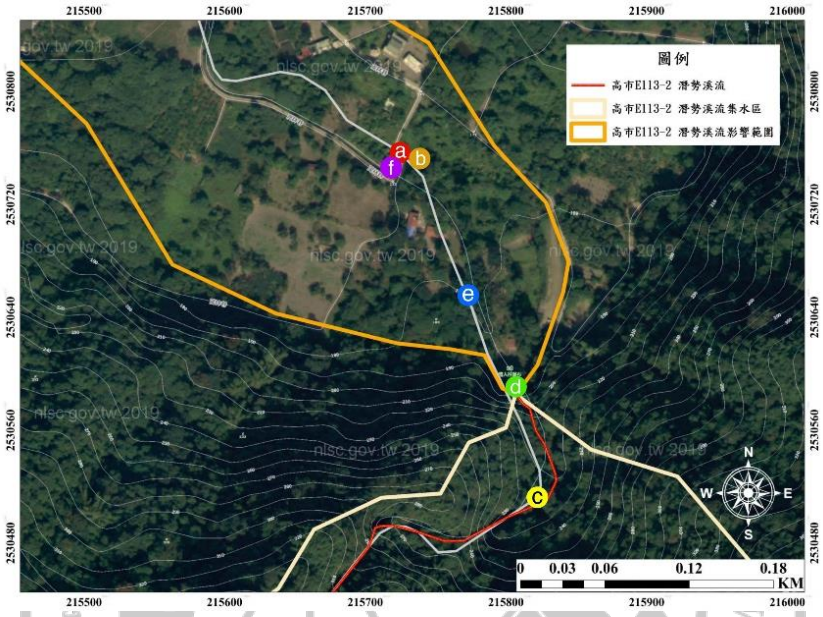


圖 3-48 大津(C1V340)凱米颱風歷史雨量組體圖(本研究繪製)

由現地調查可知情人谷無名過路橋涵通洪底長與高分別為4.4m、2.09m(圖 3-49a)，經歷凱米颱風之土石流土體溢出橋涵兩側之堆積高度及坡度(圖 3-49b)，崩塌地空拍照(圖 3-49c)與崩塌現地實際勘查(圖 3-49d)可知目前情況下依然存在大量材料未崩塌，之後降雨將皆有可能使此崩塌地繼續發生土石流。





a.情人谷無名過路橋涵尺寸圖



b.情人谷無名過路橋涵土體堆積狀況

	
c.崩塌地整體規模	d.瀑布上游崩塌地現況
	
e.情人谷無名過路橋涵(已清淤)	f.受災民房現況

圖 3-49 高市 E113-2 土砂溢淹災後情況(2024 年 9 月 28 日)

本研究分析高市 E113-2 集水區各重現期距與本次降雨事件凱米颱風之清水流與土石流流量數據(表 3-29)，並檢視高市 E113-2 情人谷無名過路橋涵之斷面流量為 58.94m^3/s(表 3-30)。

本研究針對高市 E113-2 情人谷無名過路橋涵所計算之清水流流況分析結果得知(表 3-31)，高市 E113-2 情人谷無名過路橋涵通洪斷面流量 58.94m^3/s 皆大於重現期距 50 年、100 年之清水流流量為 39.14m^3/s 與 42.28m^3/s，各重現期距和降雨事件之清水流流量足夠穩定通過箱涵。

高市 E113-2 重現期距 50、100 年之土石流流量為 46.58m^3/s 與 50.32m^3/s，而本次事件之土石流流量為 43.87m^3/s。從分析結果得知，高市 E113-2 情人谷無名過路橋涵斷面流量皆大於且滿足各重現期距和降雨事件之土石流流量。

綜合上述分析高市 E113-2 情人谷無名過路橋涵符合高市 E113-2 重現期距 50 年、100 年清水流流量設計標準，若加以考慮土石流流量條件，其橋涵仍然符合重現期距 50 年、100 年土石流流量設計標準。

不過就本次凱米颱風所導致橋涵嚴重之淤埋災情，研判原因為事件發生之降雨資料可知降雨延時為 70hr、累積雨量為 1,244mm、最大降雨強度為 105.5mm/hr(表 3-32)，經此次強降雨使上游山區產生多處新生崩塌地，使得累積大量崩落土體，於豐富之土砂料源與豪雨混和作用下，造成較嚴重複合型土砂災害，以致大量土體將過路橋涵堵塞進而衝擊民房，使得人民財產受損。

表 3-29 高市 E113-2 土石流流量分析

土石流流量分析	情人谷無名過路橋涵		
重現期距與颱風事件	50(年)	100(年)	凱米 (2024 年)
清水流流量 Q_P (m^3/s)	39.14	42.28	36.87
土石流流量 Q_D (m^3/s)	46.58	50.32	43.87

表 3-30 高市 E113-2 通洪斷面檢討

排水構造物	尺寸(m)				最大流速 V (m/s)	清水流流量 Q_p (m^3/s)	構造物 Q_p > 重現期距/事件 Q_D				淤積深度 (m)
	溝寬	溝底寬 w	邊坡比 z	通洪斷面最高水深 y			50 (年)	100 (年)	凱米 (2024年)	現場	
情人谷無名過路橋涵	5	4.4	2.11	2.09	6	58.94	是	是	是	否	4.53

表 3-31 高市 E113-2 不同重現期距之清水流流量

集流時間 t_c (min)	重現期距 T (年)	降雨強度 I (mm/hr)	清水流流量 Q_p (m^3/s)
6.62	10	89	31.1
	25	102	35.64
	50	112	39.14
	100	121	42.28

資料來源：BigGIS 巨量空間資訊系統，2024

表 3-32 高市 E113-2 災害事件降雨資料分析

颱風事件(年)	凱米(2024)
降雨延時(hr)	70
累積雨量(mm)	1,244
最大降雨強度(mm/hr)	105.5

第二節　山陀兒颱風後土石流災害

一、東縣DF059土石流潛勢溪流

災害位置位於臺東縣卑南鄉木瓜溪上游之鎮樂橋(TWD97-X:252339；Y：2513032)及木瓜溪下游之千歲橋(TWD97-X：253481；Y：2511464)(圖 3-50)。流域屬臺東沿海河系，子集水區為知本溪流域，溪流長度為 3.9km、平均高程為 344.8m、平均坡度 41.6°，上游鎮樂橋集水區面積為 233ha、下游千歲橋集水區面積為 527ha。

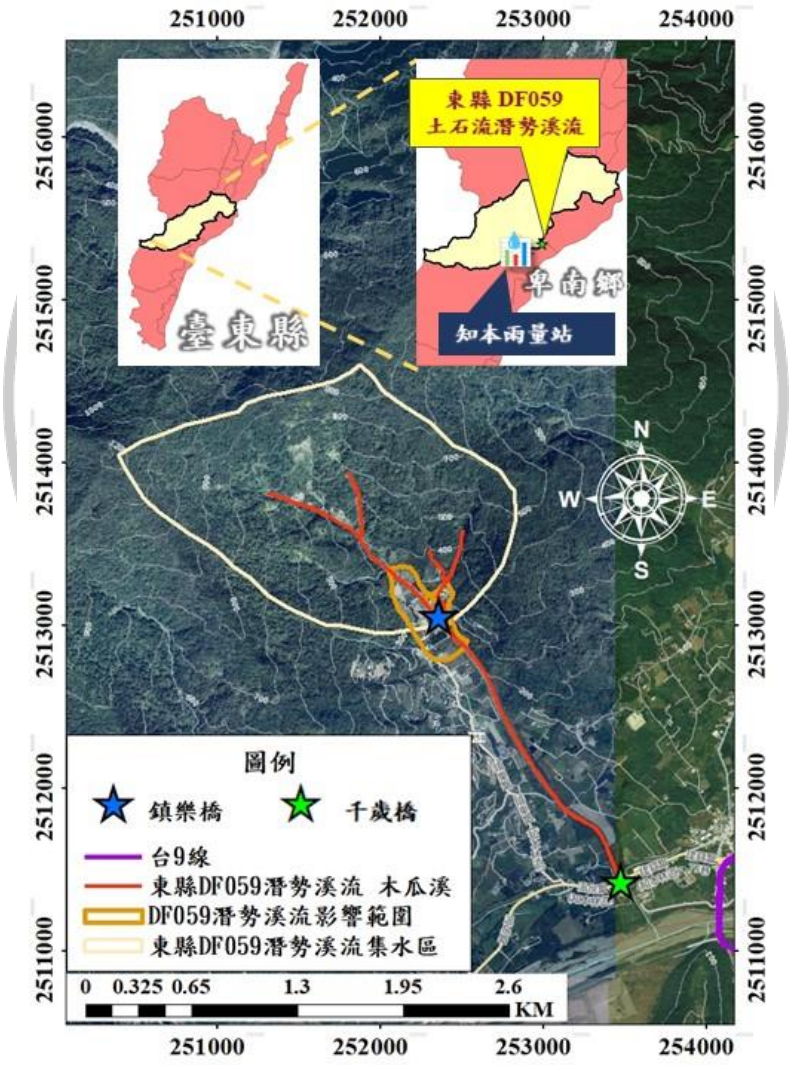


圖 3-50 木瓜溪及鎮樂橋、千歲橋地理位置

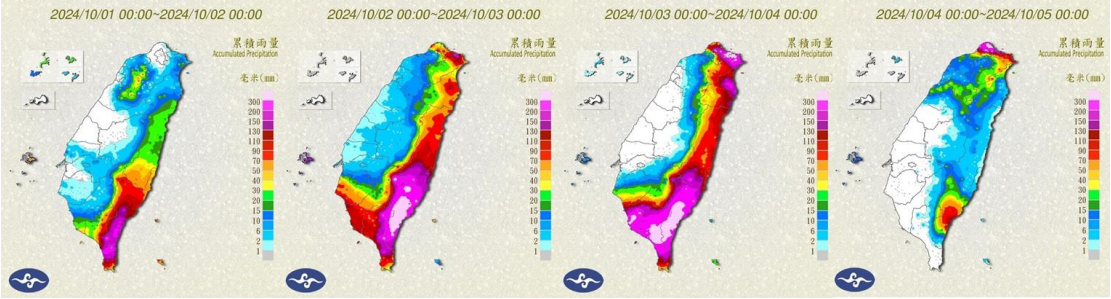
臺東縣土石流潛勢溪流 DF059(以下簡稱東縣 DF059)發生區位之地質屬紅葉層，災害區位鄰近清水斷層(圖 3-51)(經濟部地質調查及礦業管理中心，2024)。參考雨量站為知本雨量站(C0S700)，平均年雨量 2,397.6mm，土石流警戒基準值 500mm，降雨主要集中在 5 月至 9 月雨季期間，其主要來源包括梅雨季和颱風(交通部中央氣象署，2024)。



資料來源：經濟部地質調查及礦業管理中心，2024

圖 3-51 東縣 DF059 潛勢溪流地質圖

2024 年 10 月山陀兒颱風由臺灣南部登陸，包含臺東受到強降雨影響(圖 3-52)，致使東縣 DF059 引發土石流，大量土砂通過上游鎮樂橋並衝撞橋涵導致破損，則下游千歲橋淹埋且泥沙流至橋面、路面並堆積，使道路交通受阻。



資料來源：中央氣象署，2024

圖 3-52 山陀兒颱風影響歷程及每日降雨分布

由居民訪問中得知，土石流流出時間為 10 月 3 日上午 2 時至 3 時，搭配(圖 3-53)參考知本雨量站山陀兒颱風歷史雨量組體圖，土石流災害發生時之前期降雨 ETR2 有效累積雨量為 803.3mm，發生時降雨強度為 29.5mm/hr(交通部中央氣象署，2024)。

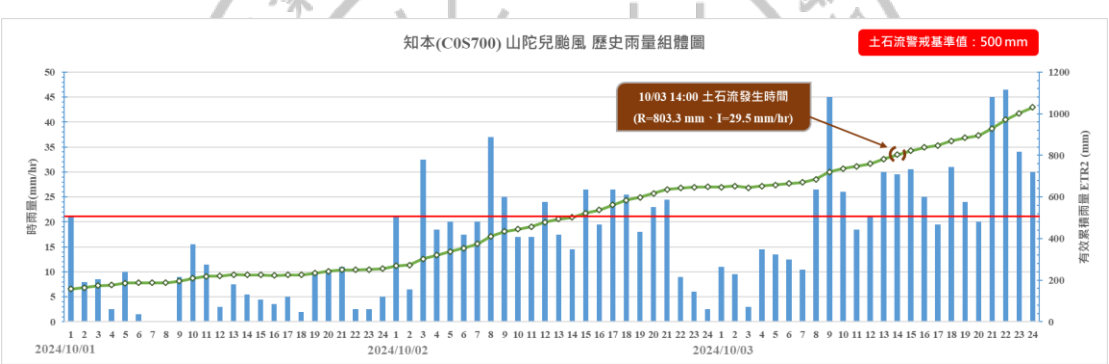


圖 3-53 知本雨量站(C0S700)山陀兒颱風歷史雨量組體圖 (本研究繪製)

本研究分析東線 DF059 集水區各重現期距(BigGis 巨量間訊系統，2024)，得出重現期清水流流量(表 3-33)，並計算 2024 年山陀兒颱風所造成之流量數據(表 3-34)，而山陀兒颱風降雨強度參考知本雨量站(CODIS 氣候觀測資料查訊服務，2024)。同時觀測鎮樂橋及千歲

橋之橋長、橋深通洪尺寸(表 3-35)，鎮樂橋為 20m、3m(圖 3-54a)、千歲橋為 18m、3.5m(圖 3-54b)，斷面流速採用最大容許流速 6m/s(水土保持技術規範，2023)，由此可求得通洪流量，上游鎮樂橋為 420m^3/s，下游千歲橋為 324m^3/s。

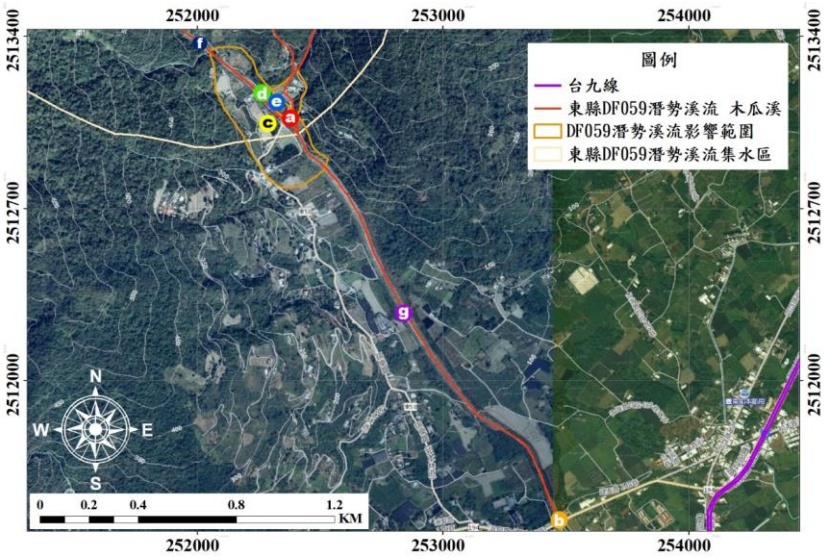
鎮樂橋橋涵之重現期距 50 年以及 100 年之土石流流量為 90.87m^3/s 與 98.73m^3/s，而山陀兒颱風造成之土石流流量為 38.34m^3/s。千歲橋橋涵之重現期距 50 年以及 100 年之土石流流量為 205.54m^3/s 與 223.33m^3/s，而山陀兒颱風造成之土石流流量為 91.97m^3/s。從分析結果顯示，鎮樂橋通洪斷面 420m^3/s，大於山陀兒颱風造成之土石流流量 38.34m^3/s，可通過該橋涵斷面；千歲橋通洪斷面為 324m^3/s，山陀兒颱風土石流流量 91.97m^3/s，可通過橋涵斷面，但實際山陀兒颱風事件的土石流卻對千歲橋造成淤埋，其淤埋深度約 5m，為此需探討千歲橋通洪斷面是否足夠的問題。

本研究現地調查時間為 2024 年 10 月 5 日，從鎮樂橋上游河段旁之樹木表皮發現(圖 3-54c)，土石流流動過程中曾打擊到樹幹，導致其樹皮剝落，經現場調查發現受撞擊樹木位於河道轉彎處(圖 3-54d)，推測因流動速度過快而溢出河道並衝撞路樹，經量測得知護岸高度為 2.5m，明顯因高度不足而溢出，導致土石流致路面。鎮樂橋上游因流動方向受影響，土石流流動重心偏移靠向右岸，導致其形成集中流動

之運動狀態使土石流流動深度提高，並沿護岸之切線繼續直線流動，使土石流接觸到鎮樂橋中間部分之橋涵造成破損(圖 3-54e)。

由空拍影像得知，鎮樂橋上游有一座梳子壩及數座攔沙壩，梳子壩遭淤滿而未破壞(圖 3-54f)，而直至下游的攔沙壩皆有砂石停留及堆積。鎮樂橋上游坡度經量測為 11.5°、下游為 7.5°，千歲橋上游河段堆積嚴重，其淤積坡度為 5.2°、下游為 3°。

綜合上述，建議將上游鎮樂橋增加護岸高度避免土石溢出河道，或拓寬河道及增高橋涵高度，使土石流通洪及流動範圍提供足夠通過之面積。由千歲橋現場可看出該橋梁高度是依路面高度進行設計，與路面等高而並未提高橋梁通洪高度，導致下游千歲橋通洪斷面不足，因此判斷為橋梁高度不足，導致土石溢淹至橋面，且考慮坡度較緩，土石必定在此堆積，因此需考慮挖深河道或提高橋涵高度之辦法，用以增加通洪高度。本次山陀兒颱風影響所帶來超大豪雨之降雨量為 1,205mm、降雨延時長長達 101hr、最大降雨強度達 56.5mm/hr(表 3-36)。





a.上游鎮樂橋橋涵受土石流撞擊情況



b.下游千歲橋土石流淤埋情況



c.鎮樂橋上游河段旁路樹撞擊現況



d.河道蜿蜒導致土石流流向偏移



e.土石流運動方向改變對橋梁造成衝擊



f.鎮樂橋上游梳子壩淤埋情形

圖 3-54 東縣 DF059 土石流潛勢溪流 土砂溢淹災後情況(2024 年 10 月 5 日)

表 3-33 東縣 DF059 不同重現期之清水流流量

集流時間 t_c(min)	重現期距 T(年)	降雨強度 I (mm/hr)	清水流流量 Q_P(m^3/s)
19.64	10	83	103.28
	25	95	118.21
	50	104	129.41
	100	113	140.61

表 3-34 東縣 DF059 土石流流量分析

土石流流量分析	鎮樂橋橋涵			千歲橋橋涵		
重現期距與颱風事件	50(年)	100(年)	山陀兒(2024)	50(年)	100(年)	山陀兒(2024)
清水流流量 Q_P(m^3/s)	57.21	62.17	25.58	129.41	140.61	57.86
土石流流量 Q_D(m^3/s)	90.87	98.73	40.63	205.54	223.33	91.97

表 3-35 東縣 DF059 通洪斷面之檢討

排水構造物(橋涵)	尺寸(m)		斷面流速 V(m/s)	清水流流量(構造物) Q_P(m³/s)	構造物 Q_p > 重現期距/事件 Q_D				淤積深度 m
	溝底寬 w	通洪斷面最高水深 y			50	100	山陀兒計算	現場	
鎮樂橋	20	3.5	6	420	是	是	是	否	3.5
千歲橋	18	3	6	324	是	是	是	否	5

表 3-36 東縣 DF059 災害事件降雨資料分析

颱風事件(年)	山陀兒(2024)
降雨延時(hr)	101
累積雨量(mm)	1,205
最大降雨強度(mm/hr)	46.5

農業部農村發展及水土保持署 Agency of Rural Development & Soil and Water Conservation, MOA

二、東縣DF111土石流潛勢溪流

災害位置位於臺東縣太麻里鄉大王村沙崙橋橋涵(圖3-55)(TWD97-X:250205；Y：2502663)。流域屬臺東沿海河系，子集水區為太麻里沿海流域，溪流長度為 2.46km、平均高程為 475.15m、平均坡度 49.98°，集水區面積為 117ha。

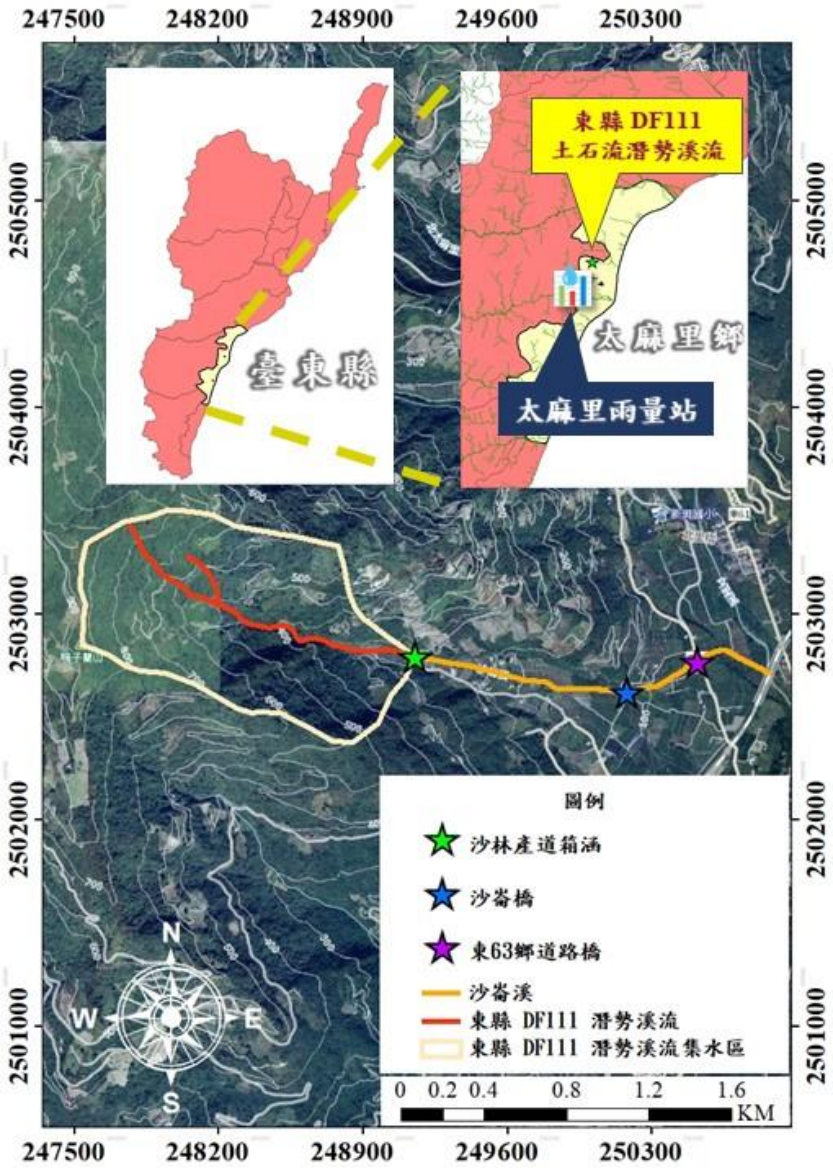


圖 3-55 沙崙橋橋涵地理位置

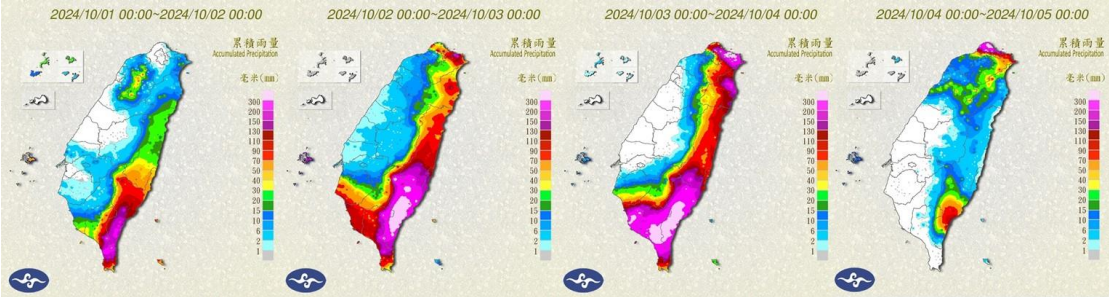
臺東縣土石流潛勢溪流 DF111(以下簡稱東縣 DF111)發生區位之地質屬紅葉層，主要分為硬頁岩、版岩、千枚岩、硬砂岩(圖 3-56)(經濟部地質調查及礦業管理中心，2024)。參考雨量站為太麻里雨量站(C0S690)，平均年雨量 1,842mm，土石流警戒基準值 450mm，降雨主要集中在 5 月至 9 月雨季期間，其主要來源包括梅雨季和颱風(交通部中央氣象署，2024)。



資料來源：經濟部地質調查及礦業管理中心，2024

圖 3-56 東縣 DF111 潛勢溪流地質圖

2024 年 10 月山陀兒颱風由臺灣南部登陸，包含臺東受到強降雨影響(圖 3-57)，致使東縣 DF111 引發土石流及沙崙橋受大量土砂淤埋。



資料來源：中央氣象署，2024

圖 3-57 山陀兒颱風影響歷程及每日降雨分布

由土石流防災專員訪問中得知，該颱風事件發生兩場土石流，第一場土石流流出時間為 10 月 2 日下午 20 時，土石流災害發生時之前期降雨 ETR2 有效累積雨量為 367mm，發生時降雨強度為 12.5mm/hr、第二場為 10 月 4 日凌晨 01 時至 02 時，災害發生時之前期降雨 ETR2 有效累積雨量為 626.8mm，發生時降雨強度為 78mm/hr(交通部中央氣象署，2024)，搭配(圖 3-58)參考太麻里雨量站山陀兒颱風歷史雨量組體圖。

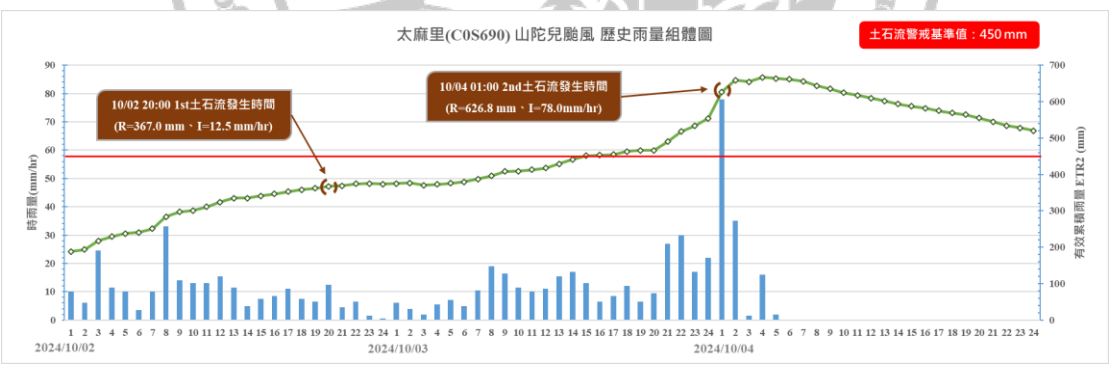


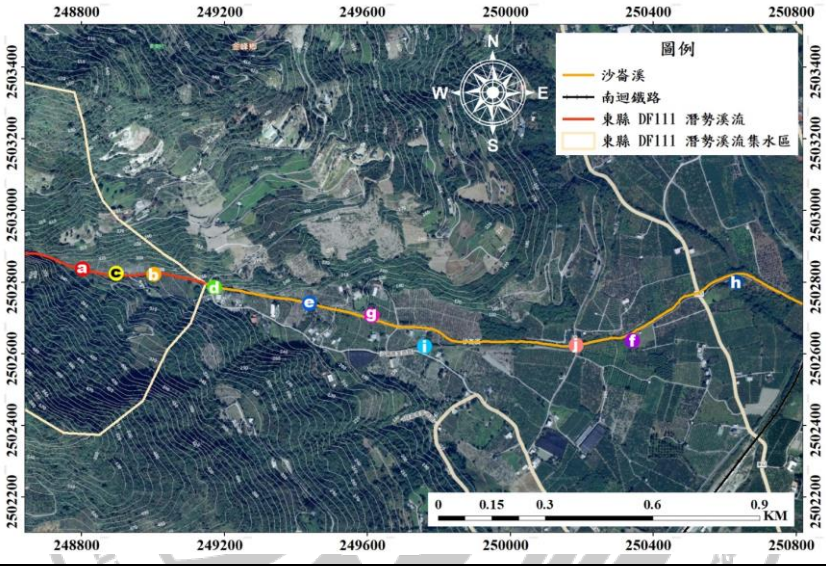
圖 3-58 太麻里雨量站(C0S690)山陀兒颱風歷史雨量組體圖(本研究繪製)

本次現地調查時間為 2024 年 10 月 5 日，山陀兒颱風事件對沙崙

溪造成嚴重淤埋，出流口因流動斷面遇岩盤，而岩盤本質較硬無法沖刷導致形成束縮點(圖 3-59a)，因此由出流口以下之土石皆溢出河道，由圖 3-59b 可知崩塌區現況，經現場量測其堆積深度達 4.5m、堆積深度為 10°。而出流口以下第一座構造物為沙林產道箱涵(圖 3-59d)，尤其淤埋狀況可得知通洪斷面不足之問題，且因束縮段導致橋面及護岸均有撞擊破損且大石塊停留淤積等問題。如圖 3-59f-1 所示，土石流流動受離心力影響溢出至右岸農田(圖 3-59g)，與左岸形成鮮明對比，並導致農田受土石流沖刷而傷及作物。由圖 3-59h 可見，舊有堆積土層與河道形成明顯高差，土石流無法通過，導致土石流動斷面再次受到影響而形成束縮點，且土石受流速增快之影響形成強大的衝撞力，使右岸堤防遭受撞擊而形成潰口，而堤防內部僅用土體堆積加上外部砌石和混凝土鋪設使強度不足，導致破裂長度達 32m，且剩餘土體繼續運行並淹至路面導致堵塞，據土石流防災專員敘述得知，其潰堤時間約為清晨 03 點至 04 點區間。沙崙溪旁皆為農田居多，且由現場農田土壤即可得知其為舊有崩積土層，間接表示多數農地面積是佔據原有河道(圖 3-59g)，因河道縮減導致土石流流動斷面不足致使農地遭受波及。而沙崙橋斷面無法承受實際土石流流量，導致整座橋梁受到土石流抬升作用而斷裂，並運移至下游東 36 鄉道路橋處(如圖 3-59i)。

綜合上述，本次淤埋嚴重情形主要為上游束縮段關係，導致淤埋

範圍更加廣闊，但農田阻礙原有河道導致通洪斷面不足之問題仍需檢討，由土石流流動方向及運動型態即可看出其行徑範圍，且當地之農田皆為舊有崩積土，由此可證該土地為土石流運行所需空間。沙崙橋之通洪高度有明顯不足，加上土石流動速度較快，使橋板受撞擊斷裂並搬運至下游，應考慮橋梁通洪深度不足之問題。而橋梁寬度並未阻礙土石流流動，其橋寬度設計與河道寬度相同，可避免斷面收縮且堵塞之問題。





a.東縣 DF111 土石流流出口-束縮段



b.崩塌區及出流位置-空拍



c.噴發後沖毀石砌護護岸



d.沙林產道箱涵淤滿現況



e.土石流沖刷導致護岸毀損



f-1.土石流流動方向不同之影響結果



f-2.右岸農田受土石流淤埋



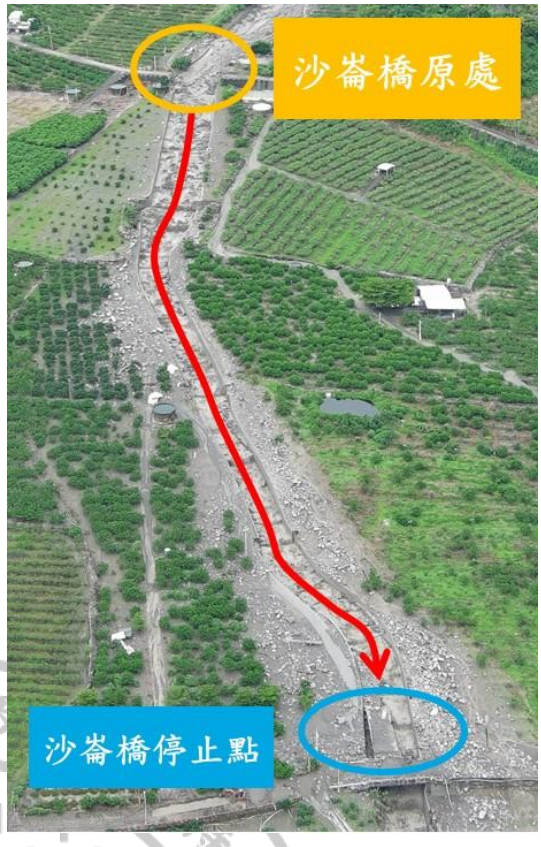
g.土石流溢淹農田及沖潰堤防-空拍視角



h.土堤堤防潰堤，土石沖至路面



j.沙崙橋原位置及尺寸



i.沙崙橋受土石流抬至下游東 63 鄉道路橋

圖 3-59 東縣 DF111 土砂溢淹災後情況(2024 年 10 月 6 日)

本研究分析東縣 DF111 集水區各重現期距(BigGis 巨量間訊系統，2024)，得出重現期清水流流量(表 3-37)，並計算 2024 年山陀兒颱風所造成之流量數據(表 3-38)，而山陀兒颱風降雨強度參考太麻里雨量站(CODIS 氣候觀測資料查訊服務，2024)。同時觀測沙崙橋涵之橋長、橋深通洪尺寸為 20m、3m(表 3-39)，斷面流速採用最大容許流速 6m/s，由此可求得通洪流量為 360m^3/s(圖 3-59b)。

沙崙橋涵之重現期距 50 年以及 100 年之土石流流量為 39.71 與 43.29m^3/s，而山陀兒颱風事件造成之土石流流量為 30.98m^3/s。從分

析結果顯示，橋涵通洪流量 360m^3/s，大於山陀兒颱風造成之土石流流量 30.98m^3/s，可通過該橋涵斷面，而在山陀兒颱風事件之土石流將整座沙崙橋沖毀並搬運至下游，因此需釐清其通洪斷面是否足夠。

表 3-37 東縣 DF111 不同重現期之清水流流量

集流時間 t_c(min)	重現期距 T(年)	降雨強度 I (mm/hr)	清水流流量 Q_P(m^3/s)
9.1	10	80	22.1
	25	92	25.42
	50	100	27.63
	100	109	30.11

表 3-38 東縣 DF111 土石流流量分析

土石流流量分析	沙崙橋橋涵		
重現期距與颱風事件	50(年)	100(年)	山陀兒(2024 年)
清水流流量 Q_P(m^3/s)	27.63	30.11	21.55
土石流流量 Q_D(m^3/s)	39.71	43.29	30.98

表 3-39 東縣 DF111 通洪斷面之檢討

排水構造物(橋涵)	尺寸(m)		斷面流速 V(m/s)	清水流流量(構造物) Q_P(m^3/s)	構造物 Q_p >重現期距/事件 Q_D				淤積深度(m)
	溝底寬 w	通洪斷面最高水深 y			50	100	山陀兒計算	現場	
沙崙橋橋涵	20	3	6	360	是	是	是	否	4

表 3-40 東縣 DF111 災害事件降雨資料分析

颱風事件(年)	山陀兒(2024)
降雨延時(hr)	92
累積雨量(mm)	868
最大降雨強度(mm/hr)	78

三、東縣DF124土石流潛勢溪流

災害位置位於臺東縣太麻里鄉台 9 線(舊線)橋涵(圖 3-60)(TWD97-X:251853；Y：2505517)。流域屬臺東沿海河系，子集水區為太麻里沿海流域，溪流長度為 1.03km、平均高程為 322.58m、平均坡度 48.34°，集水區面積為 89ha。

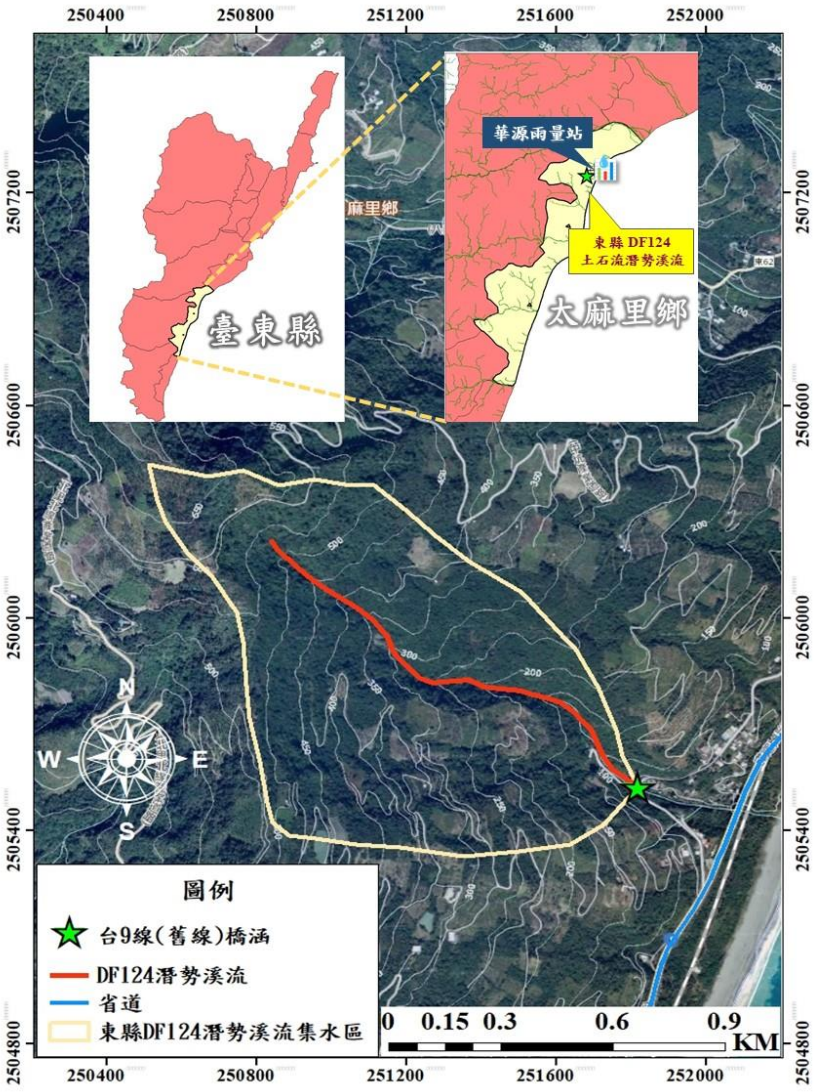


圖 3-60 台 9 線(舊線)橋涵地理位置

臺東縣土石流潛勢溪流 DF124(以下簡稱東縣 DF124)發生區之地

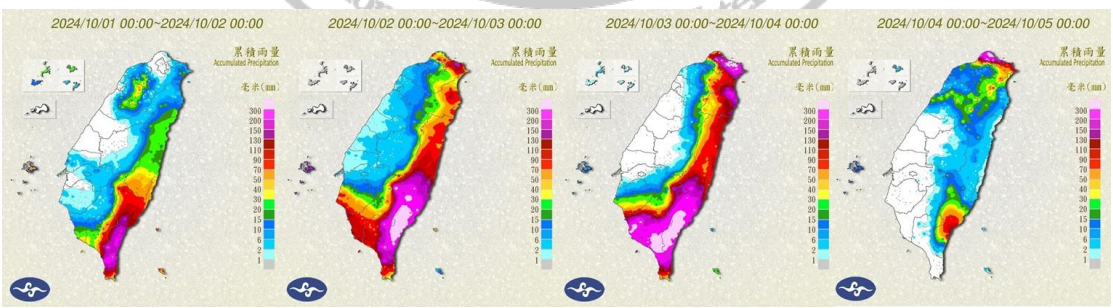
質屬紅葉層(圖 3-61)(經濟部地質調查及礦業管理中心，2024)。參考雨量站為華源雨量站(C1S800)，平均年雨量 1,959.2mm，土石流警戒基準值 450mm，降雨主要集中在 5 月至 9 月雨季期間，其主要來源包括梅雨季和颱風(交通部中央氣象署，2024)。



資料來源：經濟部地質調查及礦業管理中心，2024

圖 3-61 東縣 DF124 潛勢溪流地質圖

2024 年 10 月山陀兒颱風由臺灣南部登陸，包含臺東受到強降雨影響(圖 3-62)，致使東縣 DF124 引發土石流，台 9 線(舊線)橋涵受大量土砂淤埋。



資料來源：中央氣象署，2024

圖 3-62 山陀兒颱風影響歷程及每日降雨分布

由居民訪問中得知，土石流流出時間為 10 月 4 日上午 1 時至 2 時，搭配(圖 3-63)參考華源雨量站山陀兒颱風歷史雨量組體圖，土石流災害發生時之前期降雨 ETR2 有效累積雨量為 560.3mm，發生時降雨強度為 29.5mm/hr(交通部中央氣象署，2024)。

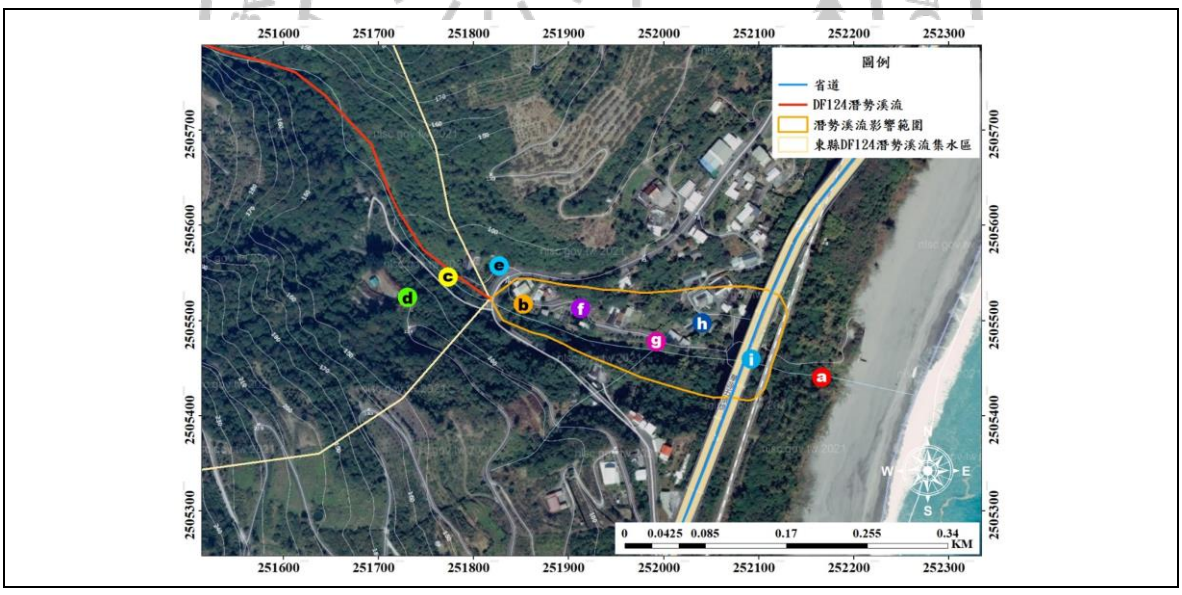


圖 3-63 華源雨量站(C1S800)山陀兒颱風歷史雨量組體圖(本研究繪製)

本次現地調查時間為 2024 年 10 月 5 日，此次山陀兒颱風事件對台 9 線(舊線)橋涵造成嚴重淤埋(圖 3-64b)，且沖刷力度強大導致護岸毀壞，經現場勘查可知護岸內部使用堆置土方，而後在外層砌上礫石與混凝土作為護岸，內部結構並無補強材料導致強度不足而撞毀，判斷為通洪斷面小於原有河道，進而淤埋並使土石往橫向擠壓導致破損(圖 3-64c)，並溢淹出河道流至路面(圖 3-64d)。由於現場已清理疏通路線，不易得知原有淤埋情形，但經一旁竹桿表面淤泥痕跡之高度得知原有堆積高度(圖 3-64e)，包括橋涵深度、橋台厚度及淤泥高度得知其淤埋深度為 7.7m。上游土層堆積角度經量測為 11°。

台 9 線(舊線)橋涵下游因通洪斷面不足，導致土石溢淹出河道使當地居民之魚塘淹沒(圖 3-64f)。在下游區段堆積較嚴重，河道近乎遭受覆蓋，現場拍攝之影像為清理後(圖 3-64h)，堆積高度可埋沒居民之住所(圖 3-64i)，且沖刷力之巨大造成河床沖刷破壞，導致護岸淘空而崩塌，且下刷深度導致華源 5 號橋橋墩裸露，直至 10 月 5 日現地調查時仍持續受水流沖刷(圖 3-64j)。

綜合上述，台 9 線(舊線)橋涵因通洪斷面不足，導致土石流經過橋涵形成束縮口，進而無法順利流通而受阻，建議將通洪斷面擴大至與護岸寬度相等。台 9 線(舊線)橋涵的上游及下游護岸直接建造於舊有崩積土層，強度不足導致此次降雨事件護岸底基淘空而傾倒，需考慮加強其強度，減少路面毀損及傷及路人之虞。





a.東縣 DF124 潛勢溪流空拍圖



b.台 9 線(舊線)橋涵尺寸示意圖



c.橋涵旁護岸沖毀破壞



d. 土石堆積至右方道路



e.橋涵上淤埋深度-竹桿上殘留泥痕



f.河道淤埋情形-平面視角

<table>
<tr><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>g.河道淤埋情形-空拍</td><td>h.下游堆積情形</td></tr>
<tr><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>i.下游住宅受土石淤埋</td><td>j.下游受土石流衝擊導致橋墩外露及河床坍塌</td></tr>
</table>

圖 3-64 東縣 DF124 土砂溢淹災後情況(2024 年 10 月 5 日)

本研究分析東線 DF124 集水區各重現期距(BigGis 巨量間訊系統，2024)，得出重現期清水流流量(表 3-41)，並計算 2024 年山陀兒颱風所造成之流量數據(表 3-42)，而山陀兒颱風降雨強度參考華園雨量站(CODIS 氣候觀測資料查訊服務，2024)。同時觀測台 9 線(舊線)橋涵之橋長、橋深通洪尺寸為 5m、4m(表 3-43)，斷面流速採用最大容許流速 6m/s(水土保持技術規範，2023)，由此可求得通洪流量為 120m^3/s(圖 3-67b)。

台 9 線(舊線)橋涵之重現期距 50 年以及 100 年之土石流流量為 33.5m^3/s 與 36.39m^3/s，而山陀兒颱風事件造成之土石流流量為 18.36m^3/s。從分析結果顯示，橋涵通洪斷面 120m^3/s，大於山陀兒颱風造成之土石流流量 38.34m^3/s，可通過該橋涵斷面，但實際山陀兒颱風事件之土石流卻對橋涵造成淤埋及損傷，為此需探討其通洪斷面是否足夠的問題。

表 3-41 東縣 DF124 不同重現期之清水流流量

集流時間 t_c(min)	重現期距 T(年)	降雨強度 I (mm/hr)	清水流流量 Q_P(m^3/s)
4.98	10	83	17.44
	25	95	19.96
	50	104	21.85
	100	113	23.75

表 3-42 東縣 DF124 土石流流量分析

土石流流量分析	台 9 線(舊線)橋涵		
重現期距與颱風事件	50(年)	100(年)	山陀兒(2024 年)
清水流流量 Q_P(m^3/s)	21.85	23.75	11.98
土石流流量 Q_D(m^3/s)	33.5	36.39	18.36

表 3-43 東縣 DF124 通洪斷面之檢討

排水構造物(橋涵)	尺寸(m)		斷面流速 V(m/s)	清水流流量(構造物) Q_P(m^3/s)	構造物 Q_P > 重現期距/事件 Q_D				淤積深度(m)
	溝底寬 w	通洪斷面最高水深 y			50	100	山陀兒計算	現場	
台 9 線(舊線)橋涵	5	4	6	120	是	是	是	否	7.7

表 3-44 東縣 DF124 災害事件降雨資料分析

颱風事件(年)	山陀兒(2024)
降雨延時(hr)	101
累積雨量(mm)	837
最大降雨強度(mm/hr)	57

農業部農村發展及水土保持署 Agency of Rural Development & Soil and Water Conservation, MOA

四、東縣DF125土石流潛勢溪流

災害位置位於臺東縣太麻里鄉八鄰產業道路過路橋涵(TWD97-X:250991；Y：2507214)及華源三號橋(TWD97-X:251524.；Y：2507142.3)(圖 3-65)。流域屬臺東沿海河系，子集水區為太麻里沿海流域，溪流長度為 2.79km、平均高程為 444.29m、平均坡度 45.31°，八鄰產業道路過路橋涵之集水區面積為 78ha，華源三號橋集水區面積為 183ha。

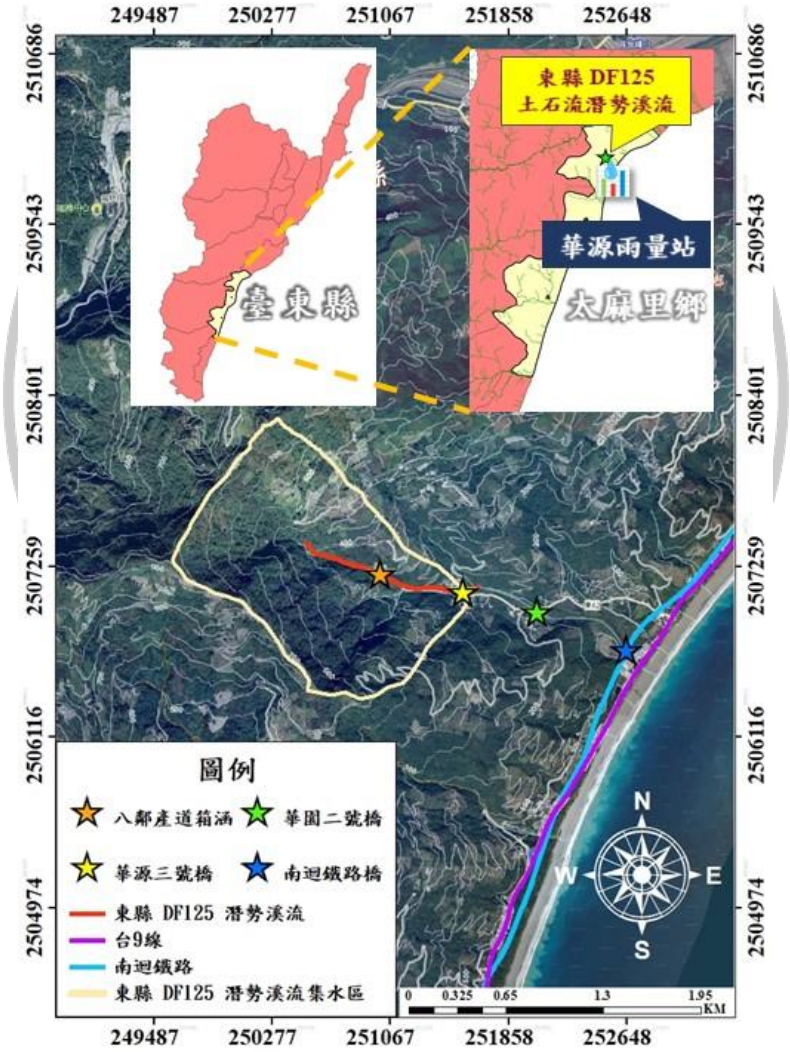


圖 3-65 華源溪地理位置

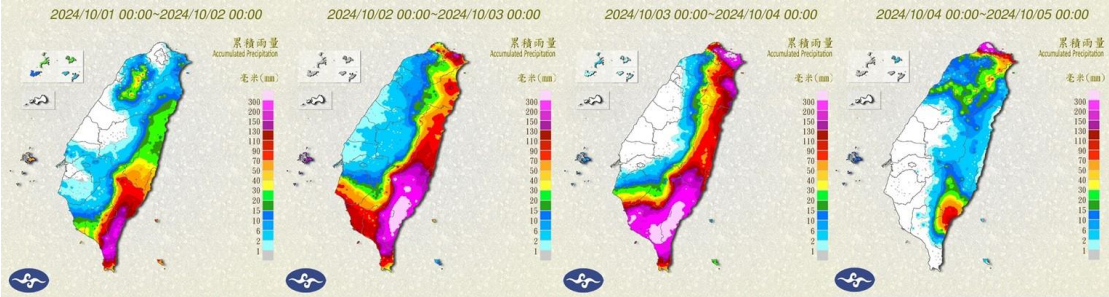
臺東縣土石流潛勢溪流 DF125(以下簡稱東縣 DF125)發生區位之地質屬紅葉層(圖 3-66)(經濟部地質調查及礦業管理中心，2024)。參考雨量站為華源雨量站(C1S800)，平均年雨量 1,959.2mm，土石流警戒基準值 450mm，降雨主要集中在 5 月至 9 月雨季期間，其主要來源包括梅雨季和颱風(交通部中央氣象署，2024)。



資料來源：經濟部地質調查及礦業管理中心，2024

圖 3-66 東縣 DF125 潛勢溪流地質圖

2024 年 10 月山陀兒颱風由臺灣南部登陸，包含臺東受到強降雨影響(圖 3-67)，致使東縣 DF125 引發土石流，八鄰產業道路過路橋涵及華源三號橋受大量土砂淤埋。



資料來源：中央氣象署，2024

圖 3-67 山陀兒颱風影響歷程及每日降雨分布

由華源三號橋旁居民提供之監視錄影影像中得知，土石流流出時間為 10 月 3 日下午 14 時 40 分路面出現泥水，10 月 4 日凌晨 01 時 30 分第一波土石流出現，直至清晨 03 時 40 分，而後土石流停止出現。搭配(圖 3-68)參考華源雨量站山陀兒颱風歷史雨量組體圖，土石流災害發生時之前期降雨 ETR2 有效累積雨量為 560.3mm，發生時降雨強度為 29.5mm/hr(交通部中央氣象署，2024)。

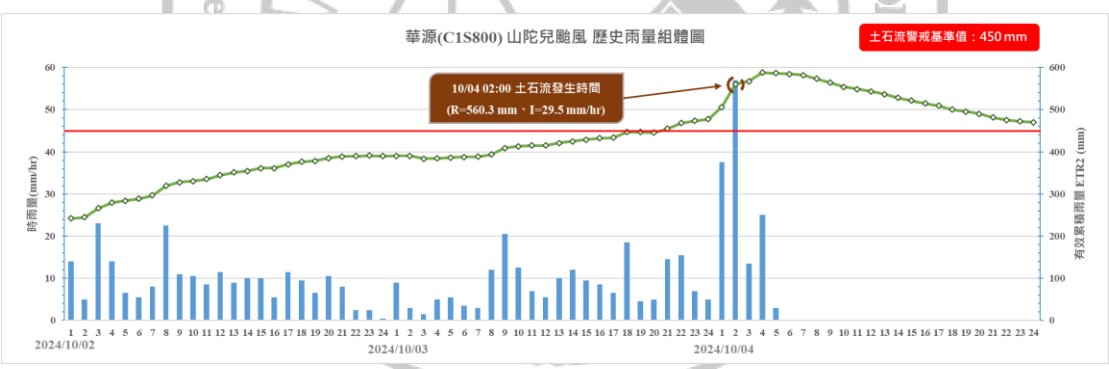
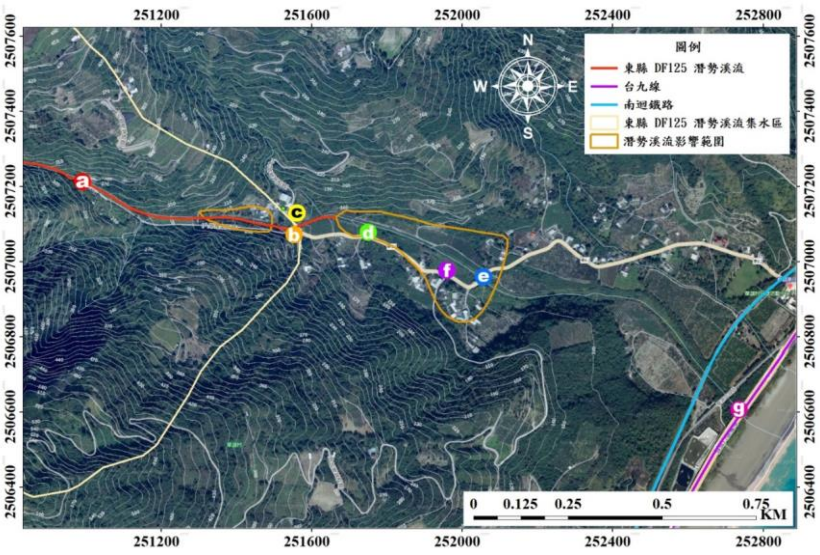


圖 3-68 華源雨量站(C1S800)山陀兒颱風歷史雨量組體圖 (本研究繪製)

本次現地調查時間為 2024 年 10 月 5 日，上游土石流經八鄰產業道路過路橋涵時堵住通洪斷面並堆積至橋面，由現場拍攝照片可見橋

面停留的皆是大塊礫石，而橋涵斷面受到整棵樹木堵塞(圖 3-69a)，導致通過面受阻而溢出至路面。現場觀察華園三號橋橋面上泥砂堆積及尺寸(圖 3-69b)，由居民提供的攝影機畫面可見 10 月 3 日下午 14 點即出現泥水淹至橋面(圖 3-69c)，土石流發生時，華源三號橋有大量泥沙溢淹至橋面(圖 3-69e)，而橋梁本身無損壞，現場調查時橋涵斷面積並未淤埋。由空拍照片可見，下游華源二號橋上游渠道無明顯土石流堆積情形(圖 3-69f)，但根據照片中巨石停留可證明土石流流經痕跡(圖 3-69f)，但並未造成護岸及橋梁毀壞。而下游出海口前開始有大量土石淤埋於此，河道轉彎處更是有土體衝出護岸，而河道淤積寬度經量測為 30m，除轉彎處衝出護岸之土石外，其餘土砂之淤範圍於河道內。

綜合上述，上游八鄰產業道路過路橋涵通洪斷面為足夠，但受到樹木堵塞導致流動受阻，而華源三號橋雖無堵塞，但土石流部分溢淹至橋面。





a. 八鄰產業道路過路箱涵淤埋情形



b. 華園三號橋橋涵尺寸示意圖



c-1. 泥水溢淹至橋面(居民提供畫面)



c-2. 土石流發生前對比(居民提供畫面)



c-3. 土石流拍打至橋面(居民提供畫面)



d. 下游段無明顯淤積-空拍視角



e-1. 下游華源二號橋無明顯淤積-平面視角



e-2. 華源二號尺寸示意圖



f. 土石流堆積現況



g. 下游堆積情形

圖 3-69 東縣 DF125 土石流潛勢溪流 土砂溢淹災後情況(2024 年 10 月 5 日)

本研究分析東縣 DF125 集水區各重現期距(BigGis 巨量間訊系統，2024)，得出重現期清水流流量(表 3-45)，並計算 2024 年山陀兒

颱風所造成之流量數據(表 3-46)，而山陀兒颱風降雨強度參考華源雨量站(CODIS 氣候觀測資料查訊服務，2024)。同時觀測八鄰產業道路過路橋涵之橋長、橋深通洪尺寸為 13m、4m(圖 3-69b)，華源三號橋則為 13m、1.5m，斷面流速採用最大容許流速 6 m/s(水土保持技術規範，2023)，由此可求得八鄰產業道路過路橋涵通洪流量為 312m^3/s、華源三號橋通洪流量為 117m^3/s(表 3-47)。

因現場淤埋已清除，無法得知淤積坡度，因此土石流計算方式採用清水流流量與土石流流量比值 1：1.5 計算(水土保持技術規範，2024)。八鄰產業道路過路橋涵之重現期距 50 年以及 100 年之土石流流量為 19.15m^3/s 與 20.81m^3/s，而山陀兒颱風造成之土石流流量為 15.75m^3/s，從分析結果顯示，橋涵通洪斷面 312m^3/s，大於山陀兒颱風造成之土石流流量，可通過該橋涵斷面；華源三號橋之重現期距 50 年以及 100 年土石流流量為 44.94m^3/s、48.83m^3/s，而颱風事件(山陀兒)造成之土石流流量為 36.98m^3/s，分析結果橋涵通洪斷面為 312m^3/s，其通洪斷面大於山陀兒颱風土石流流量，可通過橋涵斷面。但實際山陀兒颱風事件之土石流卻對八鄰產業道路過路橋涵及華源三號橋造成淤埋及損傷，為此需探討其通洪斷面是否足夠的問題。

表 3-45 東縣 DF125 不同重現期之清水流流量

集流時間 t_c(min)	重現期距 T(年)	降雨強度 I (mm/hr)	清水流流量 Q_P(m^3/s)
8.19	10	83	35.86
	25	95	41.05
	50	104	44.94
	100	113	48.83

表 3-46 東縣 DF125 土石流流量分析

土石流流量分析	八鄰產業道路過路橋涵			華源三號橋		
重現期距與颱風事件	50(年)	100(年)	山陀兒(2024)	50(年)	100(年)	山陀兒(2024 年)
清水流流量 Q_P(m^3/s)	19.15	20.81	10.5	44.94	48.83	24.63
土石流流量 Q_D(m^3/s)	28.73	31.22	15.75	67.41	73.25	36.94

表 3-47 東縣 DF125 通洪斷面之檢討

排水構造物(橋涵)	尺寸(m)		斷面流速 V(m/s)	清水流流量(構造物) Q_P(m^3/s)	構造物 Q_P > 重現期距/事件 Q_D				淤積深度(m)
	溝底寬 w	通洪斷面最高水深 y			50	100	山陀兒計算	現場	
八鄰產業道路過路橋涵	13	4	6	312	是	是	是	否	7
華源三號橋	13	1.5	6	117	是	是	是	否	1.5

表 3-48 東縣 DF125 災害事件降雨資料分析

颱風事件(年)	山陀兒(2024)
降雨延時(hr)	101
累積雨量(mm)	837
最大降雨強度(mm/hr)	57

第三節　其他事件

一、臺東縣大武鄉富山橋橋涵探討

富山橋(圖 3-70)位於臺灣東部臺東縣大武鄉大竹村南迴公路台 9 線 411K(TWD97-X：242873；Y：2480128)，竣工日期為民國 82 年 10 月。流域所屬臺東沿海河系，子集水區為大鳥沿海流域，集水區總面積為 214 ha，溪流長度 3.18 km、高程平均為 471.3 m、坡度平均為 46.48 。降雨主要集中在 5 月至 9 月雨季期間，其主要來源包括梅雨季和颱風(交通部中央氣象署，2024)。

2021 年 10 月因圓規颱風外圍環流影響下，連日大雨不斷，臺東縣土石流潛勢溪流東縣 DF093(以下簡稱東縣 DF093)發生土石流，大量土砂阻塞臺鐵高架橋橋涵形成溢淹，並導致土砂漫淹至下游。同時，富山橋橋涵也受到了土砂堵塞，造成路面堆積，使雙向道路受到阻斷。堆積量體約 5,000 m^3、橋梁淤埋長度約 50 m，阻礙道路交通路線。受 2023 年 7 月杜蘇芮颱風降雨影響，東縣 DF093 溪水暴漲，夾帶大量土砂量體再次淤積在河道上，導致富山橋二次遭受土石流災害衝擊(水土保持局，2021；國家災害防救科技中心，2023)。

本研究分析東縣 DF093 集水區各重現期距與 2021 年圓規颱風、2023 年杜蘇芮颱風兩場降雨事件之各流量數據(表 3-50)，同時檢視臺鐵高架橋橋涵與富山橋橋涵通洪斷面(表 3-51)，前者為 80.32 m^3/s；

後者為 1,471.4 m^3/s。

從清水流流況分析結果得知(表 3-49)，除臺鐵高架橋橋涵重現期距 100 年之清水流流量 80.98 m^3/s 大於通洪斷面流量 80.32 m^3/s，各重現期距和兩場降雨事件之清水流流量均足夠穩定通過臺鐵高架橋橋涵與富山橋橋涵。

臺鐵高架橋橋涵重現期距 50 年、100 年之土石流流量為 169.64 m^3/s 與 184.29 m^3/s，而兩場事件(圓規、杜蘇芮)之土石流流量為 99.08 m^3/s 與 98.51 m^3/s。富山橋橋涵重現期距 50 年、100 年之土石流流量為 150.4 m^3/s 與 163.39 m^3/s，而兩場事件(圓規、杜蘇芮)之土石流流量為 87.85 m^3/s 與 87.34 m^3/s。從分析結果得知，富山橋橋涵通洪斷面流量為 1,471.4 m^3/s，能滿足各重現期距和兩場降雨事件之土石流流量；反之，臺鐵高架橋橋涵通洪斷面流量僅有 80.32 m^3/s。

綜整上述，臺鐵高架橋橋涵和富山橋橋涵通洪斷面雖符合重現期距 50 年以上清水流流量設計標準(水土保持局，2023)，若考慮土石流流量條件，臺鐵高架橋橋涵則有通洪斷面不足之虞，當土砂量體於此持續堆積，將間接導致富山橋橋涵通洪斷面受阻，進而影響台 9 線交通安全。

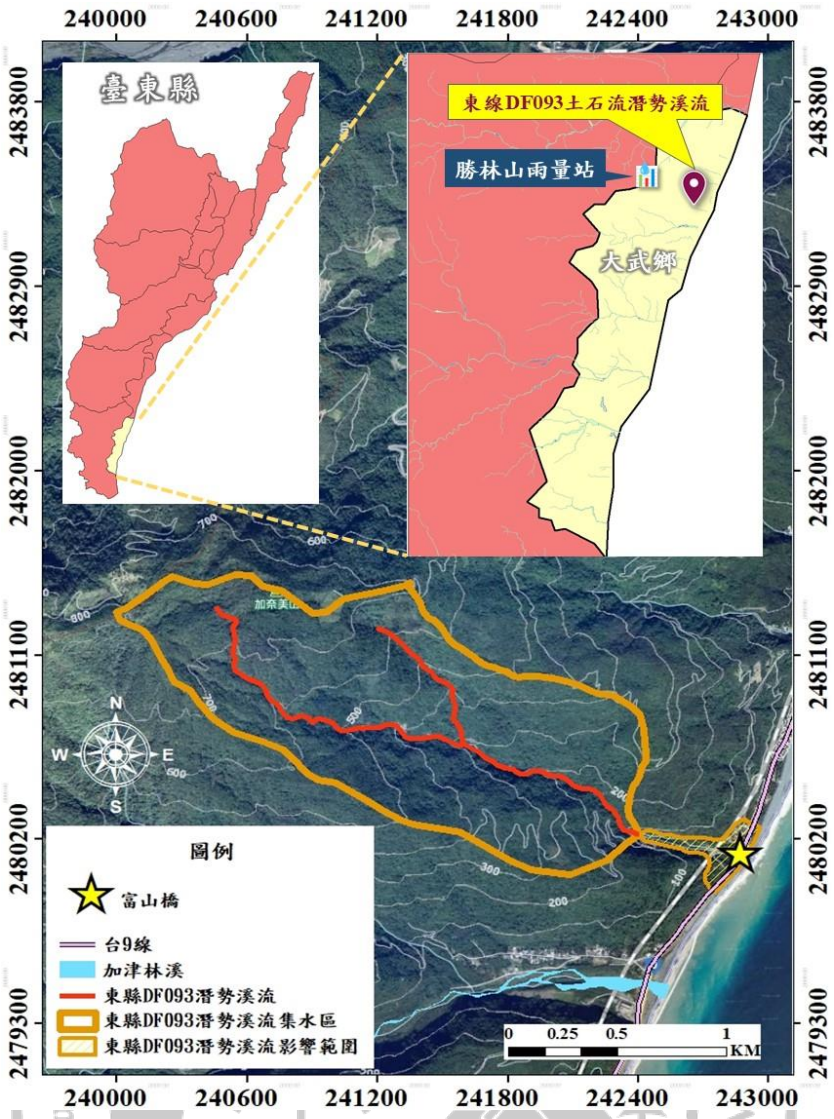


圖 3-70 富山橋地理位置



臺鐵高架橋橋涵土石溢淹情況
(2023 年 8 月 4 日)



富山橋橋涵現況
(2024 年 2 月 2 日)

圖 3-71 臺鐵高架橋及富山橋橋涵現況

表 3-49 東縣 DF093 不同重現期距之清水流流量

集流時間 t_c (min)	重現期距 T (年)	降雨強度 I (mm/hr)	清水流流量 Q_P (m^3/s)
9.65	10	118.5	52.84
	25	135.41	60.38
	50	148.21	66.09
	100	161	71.79

資料來源：農業部農村發展及水土保持署，2024

表 3-50 東縣 DF093 土石流流量分析

土石流流量分析	臺鐵高架橋橋涵				富山橋橋涵			
重現期距與颱風事件	50(年)	100(年)	圓規(2021年)	杜蘇芮(2023年)	50(年)	100(年)	圓規(2021年)	杜蘇芮(2023年)
清水流流量 Q_P (m^3/s)	74.54	80.98	43.54	43.29	66.09	71.79	38.6	38.38
土石流流量 Q_D (m^3/s)	169.64	184.29	99.08	98.51	150.4	163.39	87.85	87.34

表 3-51 東縣 DF093 通洪斷面檢討

排水構造物	尺寸(m)		曼寧粗糙係數 n	渠道縱坡 S (°)	斷面流速 V (m/s)	清水流流量 Q_P (m^3/s)
	溝底寬 W	通洪斷面最高水深 y				
臺鐵高架橋橋涵	3	2.5	0.02	3	10.71	80.32
富山橋橋涵	60	2		1.5	12.26	1,471.4

二、高雄市桃源區明霸克露橋橋涵探討

荖濃溪上游各支流集水區歷年受颱風豪雨影響，支流上游邊坡皆有崩塌地新生、擴大或是加深的情形，尤以民國 98 年的莫拉克颱風事件最為嚴重，崩塌之巨量土砂淤積於集水區河道，而後遇到強降雨則溪水夾帶土砂往下游運移或形成土石流，造成支流出口之橋梁、道路被土砂掩埋或沖毀(玉穗溪出口明霸克露橋)，或短暫形成堰塞湖、土砂擠壓主河道導致主流改向淘刷河岸(布唐布納斯溪)等，而致民房地基、農地土地流失及道路塌陷，區域交通中斷災情頻傳。

明霸克露橋(TWD97-X：228279；Y：2565075)位於高雄市桃源區台 20 縣 94k 勤和至復興路段，為復興部落以上三個里（梅山、拉芙蘭和復興里）居民通行要道。此路段位於玉穗溪及荖濃溪匯流處(圖 3-5)，集水面積為 1,236.4ha，平均坡度為 40.3°，高程為 647m，玉穗溪長度為 8.96km，明霸克露橋全長為 695m，當地部落民眾稱該橋代表著希望之橋，延續部落生命力。

民國 98 年莫拉克颱風期間，台 20 線勤和至復興路段，五公里長的全數摧毀。106 年 0601 及 0613 豪雨事件、尼莎&海棠颱風事件有土砂流出情形，明霸克露橋於 106 年 4 月 29 日完工，因歷次是導致橋涵淤積增加，沖毀前橋涵高約剩 5m，事件後淤積約達 5m 以上。110 年 8 月因受盧碧颱風帶來的外圍環流影響(0806 豪雨事件)，帶來

不同以往的長延時降雨，復興雨量站 7 月 30 日至 8 月 12 日(共 14 天)累積雨量達 1211.5mm，該事件中玉穗溪上游高雄市桃源區-D276 大規模崩塌區加深及擴大，溪水挾帶巨量土砂形成高含砂的土石流，並於谷口形成沖積扇，谷口處南橫公路 93K~98.7K 明霸克露橋被高含砂的泥流沖毀，造成台 20 線南橫公路交通中斷，荖濃溪上游復興、梅蘭、樟山、梅山聚落成為孤島。

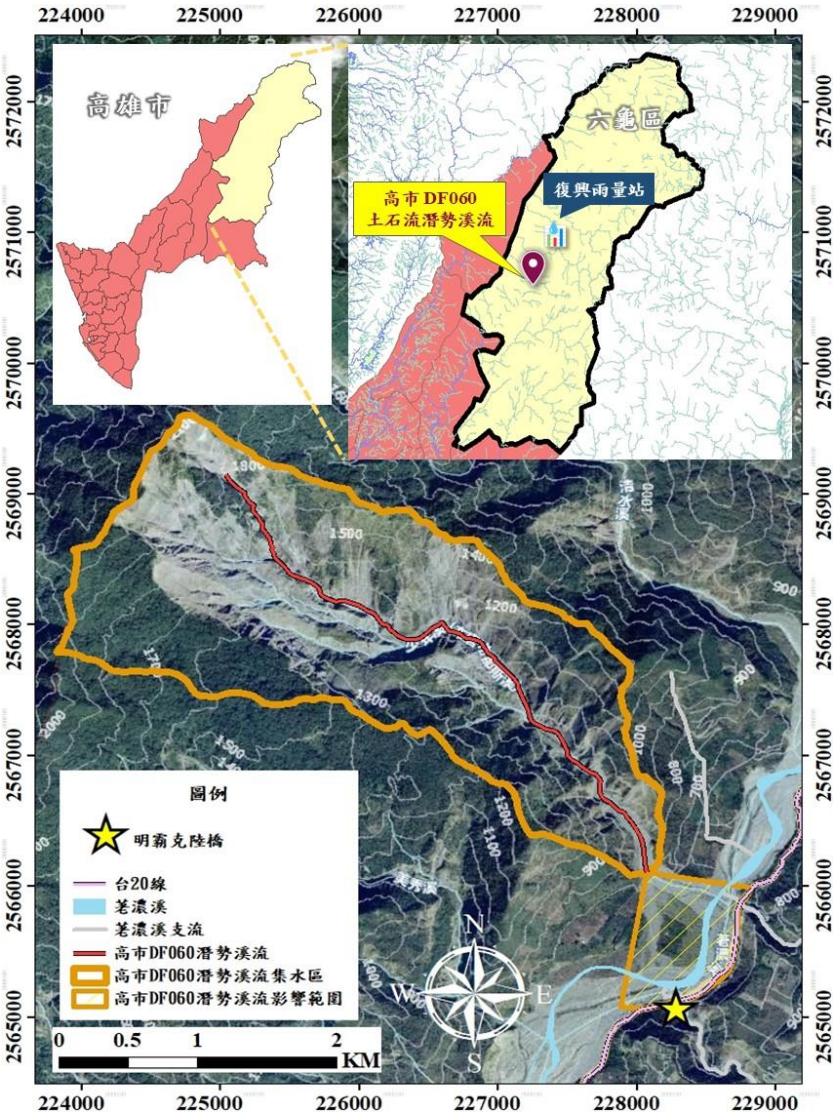
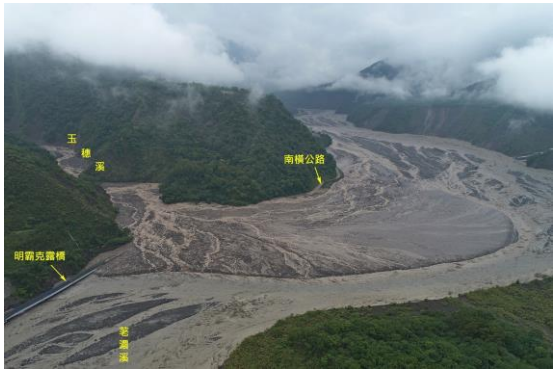


圖 3-72 明霸克露橋地理位置

	
106 年尼莎&海棠颱風事件	110 年盧碧颱風後空拍

資料來源：水土保持局歷史影像平台

圖 3-73 明霸克露橋橋涵情況

表 3-52 明霸克露橋通洪斷面檢討

橋涵寬(m)	橋涵高(m)	參考雨量站	通水斷面(m^2)	清水流量(m^3/s)	土石流量(m^3/s)	構造物坡度	流速(m/s)	流深(m)	備註
90	9	小關山	810	495.6	795.6	11.1	3.70	1.42	玉穗溪

第四節　土石流潛勢溪流跨溪構造物案例調查成果探討

本研究將上述調查結果，結合本研究所擬定之橋台設計安全係數，進行實際淤積厚度與通洪深度之統整分析，當淤深比大於 1 時，表示跨溪構造物為淤積。由表 3-53 可知，在土石流堆積區之淤深比皆大於 1，而在流動區之淤深比則以接近 1 以及大於 1，顯示在土石流堆積區之跨溪構造物通洪斷面設計皆有不足之情況，最大差距可到 4 倍；而在土石流流動區之跨溪構造物通洪斷面設計之差距為 1~2 倍。此結果將可提供本研究在後續室內實驗設計之參考依據。

表 3-53 跨溪構造物通洪斷面淤深比之結果

跨溪構造物名稱	通洪深度 (m)	區域	實際淤積厚度 (m)	淤深比
[高市 DF050]六津橋	3.2	堆積區	6.39	2.0
[高市 DF114]扇平林道 0K+140 箱涵	3.2	堆積區	7.2	2.3
[高市 E113-2]情人谷無名過路橋涵	2.09	堆積區	4.53	2.2
[尾寮排水]不動寺內橋涵	1.4	堆積區	5.4	3.9
[屏縣 DF003]不動寺東側圍牆涵洞	1.3	堆積區	2.6	2.0
[屏縣 DF003]沿山公路(屏 185 線)無名橋	1.5	堆積區	0.5	0.3
[屏縣 DF003]慈光橋	1.5	堆積區	0.5	0.3
[屏縣 T113-3]凹湖聚落無名橋涵	1.2	堆積區	2.5	2.1
[投縣 DF206]投 95 線 4.3K 過路箱涵	2	堆積區	5	2.5
[投縣 DF185]中平巷過路箱涵	1.74	堆積區	4.1	2.4
[嘉縣 DF051]嘉 141 線 10K+250 箱涵	2.5	堆積區	4	1.6
[東縣 DF059]鎮樂橋	3.5	流動區	4	1.1
[東縣 DF059]千歲橋	3	堆積區	5	1.7
[東縣 DF124]台 9 線(舊線)橋涵	4	堆積區	7.7	1.9
[東縣 DF125]八鄰產道過路箱涵	4	流動區	7	1.8
[東縣 DF125]華源三號橋	1.5	流動區	1.5	1.0
[東縣 DF111]沙崙橋橋涵	3	堆積區	4	1.3

第四章　結論與建議

第一節　結論

1. 本研究針對土石流跨溪構造物提出擬定橋台設計之安全係數，由橋台設計高程(h_{bg})與土石流最大流動深度$\left(h_{df_{max}}\right)$之比值為安全係數參考值;土石流最大流動深度$\left(h_{df_{max}}\right)$則可由理論流動深$\left(h_{df}\right)$與室內實驗結果值之比值推估。
2. 本研究進行凱米颱風以及山陀兒颱風之土石流災害調查，由調查結果可知，不論是在土石流流動區或堆積區，既有跨溪構造物通洪斷面皆有不足之情況，特別是當流動區通洪斷面不足時，對於下游危害影響更為加劇，屏縣 DF003、屏縣 T113-3、東縣 DF111、東縣 DF125 皆屬此災害特性。
3. 本研究進行凱米颱風以及山陀兒颱風之土石流災害調查，由跨溪構造物與土石流淤積厚度之調查結果可知，在土石流堆積區之淤深比最大差距可到 4 倍，而在土石流流動區則為 1~2 倍。此結果將可提供本研究在後續室內實驗設計之參考依據。
4. 本研究原設定之土石流室內實驗受到颱風降雨事件影響而延宕，目前已完成土石流實驗裝置部設，後續將補齊相關實驗進度，使研究成果能達預期目標。

第二節　建議

1. 土石流潛勢溪流跨溪構造物設計相關圖說與數據，是進行現場調查時極為仰賴之資料，惟受限施作年份已久，並未保留歷史設計數據可供比對，建議未來可將土石流潛勢溪流相關設計圖說與數據透過 BigGIS 建檔，將有利於現地調查與比對使用。
2. 本研究在現地調查與室內實驗並未考慮土石流衝擊力對於土石流潛勢溪流跨溪構造物之影響，待釐清淤深比影響後，將進一步探討衝擊力對於跨溪構造物之危害特性。

農業部農村發展及水土保持署 Agency of Rural Development & Soil and Water Conservation, MOA

第三節　產出成果

本研究今年度執行之產出成果如表 4-1：

表 4-1 本研究產出成果列表

類型	效益與成果	數量	單位	說明
學術創新面	國內研討會發表	1	篇	研討會名稱：2024 工程永續與土木防災研討會，「臺東縣大武鄉東縣 DF093 災因分析之研究」。(文章如附錄四)
	國內期刊發表	1	篇	期刊名稱：中華防災學刊，「山陀兒颱風引致臺東地區土石流災害之調查分析」，投稿中。
制度及其他面	研發人才培育	7	人	大學部專題生 6 人，碩士生 1 人，培養防災減災相關專業人才。

第四節　後續工作規劃

1. 分別以定床與動床實驗研究不同土石流流況下影響跨溪構造物斷面，利用不同土石流之粒徑、濃度及坡度為實驗參數，記錄與計算不同實驗條件下，土石流在流動段與堆積段對於跨溪構造物通洪斷面變化。
2. 完成土石流流動深度與堆積厚度對於跨溪構造物通洪深度之無因次分析。
3. 持續蒐集土石流跨溪構造物案例，將實驗成果結合本年度與後續之調查成果，進行可適性分析與修正。

參考文獻

1. 交通部運輸研究所，橋梁耐洪構造及保護工程研討會論文集，2008 年 11 月 25 日，臺中，臺灣，2008。
2. 行政院農業委員會水土保持局台南分局，荖濃溪上游集水區(玉穗溪至梅山口段)大規模土砂流出風險量化與跨域對策研擬，2022。
3. 行政院農業委員會水土保持局，水土保持手冊，2017。
4. 行政院農業委員會水土保持局，集水區整體調查規劃工作參考手冊，2008。
5. 涂繼昌、張宏旭、連惠邦、王昭雯，土石流溪流公路橋涵設計與安全檢算模式之研究，中華技術，2010。
6. 農業部農村發展及水土保持署，土石流及大規模崩塌防災資訊網，https://246.swcb.gov.tw/，2023。
7. 農業部農村發展及水土保持署，水土保持技術規範，2023。
8. C. Tang, J. Zhu, W. L. Li and J. T. Liang, “Rainfall-triggered debris flows following the Wenchuan earthquake,” Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Vol. 68, No. 2, pp. 187-194, 2009.
9. C. W. Lin, C. L. Shieh, B. D. Yuan, Y. C. Shieh, S. H. Liu and S. Y. Lee, “Impact of Chi-Chi earthquake on the occurrence of landslides and debris flows: example from the Chenyulan River watershed,

Nantou, Taiwan," Engineering Geology, Vol. 71, pp. 49-61, 2003.

10. E. Majtan, L. S. Cunningham, B.D. Rogers, "Experimental and numerical investigation of floating large woody debris impact on a masonry arch bridge. Journal of Marine Science and Engineering, Vol. 10, 911, 2022.
11. K. T. Chen, E. T. Chao, C. H. Hsu and k. B. Y. Chung, "Quantitative evaluation of post-debris flow river dredging projects: A case study of Fushan Creek in Taitung County, Taiwan," The XIV Congress of the International Association for Engineering Geology and the Environment (XIV IAEG Congress 2023), Chengdu, China, pp. 63-63, 2023.
12. Q. Xu, S. Zhang, W. L. Li and Th. W. J. van Asch, "The 13 August 2010 catastrophic debris flows after the 2008 Wenchuan earthquake, China," Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol. 12, pp. 201-216, 2012.
13. Tamotsu Takahashi, 2007, Debris Flow: Mechanics, Prediction and Countermeasures, CRC Press.
14. T. F. Fathani, W. Wilopo, A. N. Amalina and A. Pramaditya, "Debris flow hazard analysis toward the implementation of mitigation measures," International Journal of GEOMATE, Vol.23, pp. 45-56, 2022.
15. T. Takahashi, "Debris Flow," Annual Review of Fluid Mechanics, Vol. 13, pp. 57-77, 1981.
16. T. Takahashi, "Debris Flows," International Association for Hydraulic Research, Published by A.A.Balkema, Rotterdam and Brookfield, pp. 1-25, 1991.

17. W. J. Shiu, C. F. Lee, C. C. Chiu, M. C. Weng, C. M. Yang, W. A. Chao, C. Y. Liu, C. H. Lin, W. K. Huang and GeoPORT Working Group, “Analyzing landslide-induced debris flow and flow-bridge interaction by using a hybrid model of depth-averaged model and discrete element method,” Landslides, Vol. 20, pp. 331-349, 2023.
18. X. L. Gong, K. T. Chen, X. Q. Chen, Y. You, J. G. Chen, W. Y. Zhao and J. Lang, “Characteristics of a Debris Flow Disaster and Its Mitigation Countermeasures in Zechawa Gully, Jiuzhaigou Valley, China,” Water, Vol. 12 No. 5, 1256, 2020.

農業部農村發展及水土保持署 Agency of Rural Development & Soil and Water Conservation, MOA


農業部農村發展及水土保持署
Agency of Rural Development & Soil and Water Conservation, MOA

附錄一、計畫書審查意見暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理
一	本案雖分為 3 年計畫，惟仍以單年計畫核定，故第 1 年計畫仍應有依定床實驗而得之結果及相關設計標準。	感謝委員指正，該敘述為誤植，已將勘誤進行修正於期末報告。
二	土石流之流量公式來源仍應敘明出處；另定床試驗結果建議與土石流流量公式計算所得結果相互比較，及提出看法與修正意見。	感謝委員指正，因現地粒徑大小不一，本研究將以窮級配、富級配及均勻級配進行實驗配置
三	土石流對下游之影響，與其上游之土方量體大小有密切關聯，如何將此因素納入設計考量?	感謝委員指正，已將勘誤進行修正。

附錄二、期中報告審查意見暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理
一	P2-15 堆積段水槽坡度 15°、20°與 P2-8 表 2-4、P2-11 表 2-5 標示 3°、1.5°及 11.1°，差異性甚大宜敘明?	感謝委員指正，該敘述為誤植，已將勘誤進行修正於期末報告。
二	P2-14 圖 2-9 圖土石流級配未敘明粒徑和 P2-2，六土石流設計粒徑表 2-1 建議值如何整合?	感謝委員指正，因現地粒徑大小不一，本研究將以窮級配、富級配及均勻級配進行實驗配置
三	P2-3 表 2-1 未敘明水土保持技術規範條文?	感謝委員指正，已將勘誤進行修正。
四	P4-1 未敘明通洪斷面變化的量測工具?	感謝委員指正，通洪斷面變化主要以攝影機進行記錄，分別置於橋梁通洪斷面側邊與正視位置，便於評估與量測土石流對於跨溪構造物之影響變化。
五	本案第一年利用不同土石流之粒徑、濃度及坡度為實驗參數，則流動特性是否為本研究之限制。	感謝委員指正，參考國內外進行土石流實驗之文獻進行綜整，一般以土石流之粒徑、濃度及坡度為實驗參數，該三項參數皆會影響土石流流動特性之改變，例如坡度緩，粒徑小與坡度陡，粒徑小之流動特性皆不相同，因此本計畫目前仍以粒徑、濃度及坡度為主要實驗參數進行實驗與數據分析。
六	堆積區坡度是否亦有設定實驗之參數。	感謝委員指正，由於堆積區已屬於非常平緩之區位，土石流於此已不具備流動特性，因此皆以水平進行設置，如有需要，可在後續實驗納入不同坡度條件進行實驗觀測。

七	構造物斷面是否亦有設定實驗之參數。	感謝委員指正,由第一年現場調查量測分析數據可知,構造物斷面受限於河道寬度固定(工程固定),因此本計畫以深淤比之評估方法進行評估較具可行性,因此構造物斷面在本計畫中並無設定其他工況。

農業部農村發展及水土保持署 Agency of Rural Development & Soil and Water Conservation, MOA

附錄三、期末報告審查意見暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理
一	請加速渠道試驗設施設計與施工以利有效執行土石流研究工作。	感謝委員指正，遵照辦理。
二	建議將實驗與實務應用有更多連結。	感謝委員指正，遵照辦理。
三	目前水保技術規範第 65 條僅規範排洪斷面，而第 71 條亦規定跨越土石流潛勢溪流之橋梁淨空應考慮土石流影響，故前揭 2 條規定是否藉由基礎研究數據，強化其量化規範依據，以作為後續修法參考。	感謝委員指正，已將第 71 條規定加入內文如 P2-1，後續將遵照委員意見辦理。

附錄四、2024 工程永續與土木防災研討會論文

2024 工程永續與土木防災研討會
2024 Conference on Sustainable Development and Disaster Prevention in Civil Engineering

臺東縣大武鄉東縣 DF093 災因分析之研究

趙恩廷[1]　鍾庫比亞[2]　陳昆廷[3]

[1] 國立屏東科技大學 土木工程系 碩士生

[2] 農業部農村發展及水土保持署臺東分署 防災調查科 科長

[3] 國立屏東科技大學 土木工程系 助理教授

摘　要

臺東縣大武鄉大竹村之土石流潛勢溪流東縣 DF093，每逢颱風豪雨事件時，災害發生頻繁，特別在 2010 年與 2023 年，分別受圓規颱風與杜蘇芮颱風影響而誘發土石流，造成大量土砂回淤台 9 線 411K 段富山橋並形成路面土砂堆積，影響道路通行。本研究藉由現地調查、雨量分析、土石流流量計算與通洪斷面檢討等進行災因分析，研判降雨引致側岸侵蝕崩塌形成土石流，加上通洪斷面不足為主要致災原因，其評估結果可供相關權責單位治理工程方案擬定之參考。

關鍵字：富山橋、土石流潛勢溪流東縣 DF093、台 9 線

Study on the cause analysis of debris flow disaster for DF093 in Taitung, Taiwan

Zhao En-Ting[1]　Chung ku-Bi-Ya[2]　Chen Kun-Ting[3]

[1,3] Department of Civil Engineering, National Pingtung University of Science and Technology

[2] Taitung Branch, Agency of Rural Development and Soil and Water Conservation

[3] Corresponding Author, Chen Kun-Ting, kuntingchen@mail.npust.edu.tw

ABSTRACT

The potential debris flow torrent of DF093 is located in Dawu Township, Taitung County, debris flow disasters occur frequently during typhoon and heavy rainfall events. In 2010 and 2023, the debris flow events triggered by the Typhoon Kompasu and Typhoon Doksuri in DF093 area. A lot of sediment deposited on the road surface of the Fushan Bridge of Provincial Highway No.9, and affect road traffic. The cause analysis of debris flow disaster was analyzed in this study by field investigations, rainfall analysis, debris flow discharge calculation, and drainage section review. The results show that the rainfall caused the erosion and collapse of the river bank and to form debris flow. In addition, the drainage section is insufficient for debris flow. The evaluation results can serve as a reference for relevant government authorities in formulating engineering solutions for mitigation.

Keywords: Fushan Bridge, Potential Debris Flow Torrent of DF093 in Taitung, Provincial Highway No.9

一、前 言

由於全球氣候變遷，極端降雨災害發生頻率與規模都顯著增加，加上臺灣本身地形山高坡陡，造成山坡地災害不斷，甚至常態性衍生出許多複合型災害。然而土石流為外常見坡地災害類型之一，當山區野溪流域受暴雨影響，此時鬆散土體與水混合，則容易形成土石流，加上坡度足夠使土石流規模愈來愈大(Takahashi, 2007；Dong, et al., 2011；Chen, et al., 2011；Tsai, et al., 2021)。而 2021 年 10 月 8 日在菲律賓東方海面形成輕度颱風－圓規

(KOMPASU，編號 202118)，10 日持續向西移動朝巴士海峽接近，颱風雖未直接登陸臺灣本島，但受圓規颱風外圍環流影響下，所挾帶連日降雨集中在臺灣花東地區，造成嚴重坡地災害(國家災害防救科技中心，2024)。

2021 年 10 月 12 日約 13 點，位於臺東縣大武鄉大竹村台 9 線 411K 段之富山橋，因連日大雨不斷，臺東縣土石流潛勢溪流東縣 DF093(以下簡稱東縣 DF093)發生土石流，大量土砂阻塞臺鐵高架橋橋涵形成溢淹，並導致土砂漫淹至下游。同時，富山橋橋涵也受到了土砂堵塞，造成路面堆積，使雙向道路受到阻斷。堆積量體約 5,000 m^3、橋梁淤埋長度約 50 m，阻礙道路交通路線。受 2023 年 7 月 27 日中度颱風－杜蘇芮(DOKSURI，編號 202305)降雨影響，東縣 DF093 溪水暴漲，夾帶大量土砂量體再次淤積在河道上，導致富山橋二次遭受土石流災害衝擊(水土保持局，2021；國家災害防救科技中心，2023)。

富山橋位於南迴公路台 9 線，為臺灣花東地區與南部高屏地區最主要之交通運輸幹道。然而，每當土石流災害發生後，富山橋往往需投入大量金錢、時間和人力成本進行修復。因此有必要全面釐清致災原因才能有效降低土砂災害，本研究透過雨量分析、現地調查、通洪斷面檢討、土石流流量計算等方法，檢視東縣 DF093 通洪斷面，期能改善土石流災害影響並制定完善防災策略。有效提高防災能力，降低土石流災害對台 9 線交通安全之影響。

二、富山橋區域說明

富山橋(圖 1)位於臺灣東部臺東縣大武鄉大竹村南迴公路台 9 線 411K(TWD97-X：242873；Y：2480128)，竣工日期為民國 82 年 10 月。流域所屬臺東沿海河系，子集水區為大鳥沿海流域，集水區總面積為 214 ha，溪流長度 3.18 km、高程平均為 471.3 m、坡度平均為 46.48°。降雨主要集中在 5 月至 9 月雨季期間，其主要來源包括梅雨季和颱風(交通部中央氣象署，2024)。

本研究區域屬脊梁山脈帶，出露地層為中新世年代為主，區域為廬山層(Ls)，岩性多數部分由黑色到深灰色硬頁岩、板岩及千枚岩和深灰色硬砂岩層組成，含有零星散佈之泥灰岩團塊。土壤性質多以板岩棕灰色石質土、石質土為主(何春蓀，1987；經濟部地質調查及礦業管中心，2024；農業部農業試驗所，2024)。在岩石變質過程中，產生抗剪強度較低礦物，如綠泥石、絹雲母和石英。因此，當暴雨侵襲時，河岸邊坡容易受到水流侵蝕影響，再加上降雨特性有利於東縣 DF093 發展為規模更大土之砂災害(詹錢登，2000；Takahashi, 2007；施國欽，2014)。

三、東縣 DF093 現況

3-1 降雨事件

土石流發生原因，除與地質、地形條件有密切關係。此外，降雨為激發土石流發生之重要因素。本研究經由富山橋相對距離 246 m 勝林山雨量站(C0S098)，分析圓規颱風(2021 年)與杜蘇芮颱風(2023 年)之雨量資料，並以東縣 DF093 不同重現期距之降雨強度作為後續分析土石流流量之參數。

2021 年受圓規颱風外圍環流之影響，降雨開始時間為 10 月 11 日上午至隔天 10 月 12 日下午結束，降雨延時歷經共 27 hr；2023 年 7 月 26 日至 7 月 28 日受杜蘇芮颱風影響，降雨延時共 38 hr。經由勝林山雨量站(C0S98)觀測資料得知，圓規颱風(2021 年)累積雨量為 418 mm、最大降雨強度 86.5 mm/hr；杜蘇芮颱風(2023 年)累積雨量為 497.8 mm、最大降雨強度 86 mm/hr(表 1)。

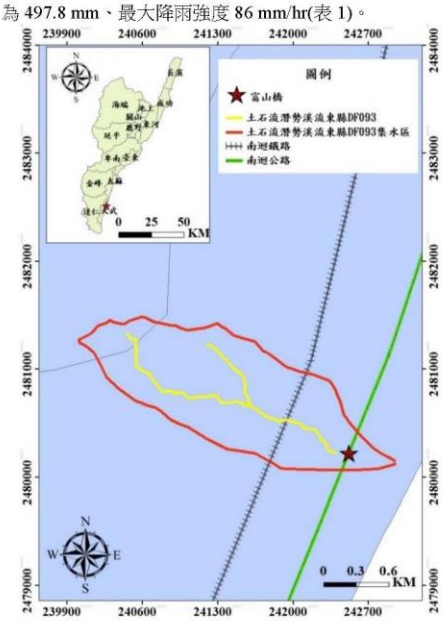


圖 1 富山橋地理位置

3-2 現地調查

經現地調查可知(圖 2)，在河段上游有一座既有防砂壩(圖 3)，溪床坡度約 15°。壩體長度約為 5 m，壩體高度約為 3 m。壩體底部為岩層向斜構造，壩體自身穩定無毀損跡象且周圍並無土砂堆積情形，研判壩體上游無大量土砂下移。

防砂壩下游溪床坡度約為 10°，在強降雨事件影響下，河道側岸受侵蝕作用增強，有多處側岸侵蝕跡象，從崩塌範圍推估，崩塌長度約 10 m、崩塌高度約 9 m(圖 4)，帶來豐富且較大粒徑塊石料源，研判河段為二次土石流事件之發生區(Formation zone)，為東縣 DF093 提供大量土石材料。

流動區(Transport zone)由土石流挾帶大量土砂運移

堆積形成尼克點(Nick point)(圖 5)，河道兩側岸受土石流侵蝕能力作用影響，造成農路(農東武 001)路基兩側淘空與撞擊破壞(圖 6)。

最下游段之堆積區(Deposition zone)溪床坡度約 3°，為大量土砂堆積區，造成臺鐵高架橋橋涵(圖 7)大量土砂阻塞、回淤並溢淹至高架橋橋涵旁農路(農東武 001)，並往下游既有防砂工程設施和富山橋路面堆積掩埋(圖 8)。

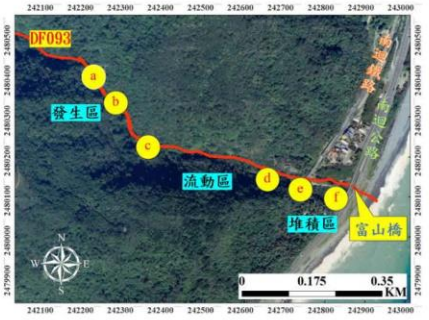


圖 2 東縣 DF093 現地調查點位分析圖



圖 3 防砂壩現況(2023 年 12 月 23 日)

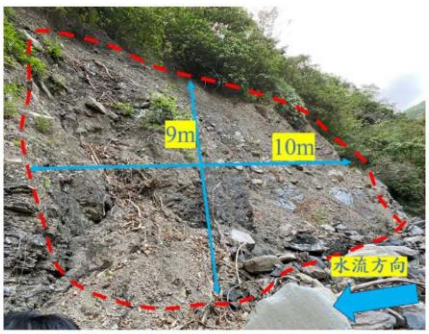


圖 4 河道邊坡崩塌(2023 年 12 月 23 日)

3-3 工程構造物通洪檢討

土石流災害侵襲時，往往造成河道既有工程構造物往往都毀損嚴重，相關部門單位在災後需投入大量時間、金錢與人力進行清疏、修繕等作業，因此有必要檢討通洪斷面是否足夠。

本研究檢討東縣 DF093 相關排水設施之通洪斷面流量(水土保持局，2017)，採用公式如下。

$$V=\frac{1}{n}\left(\frac{Wy}{W+2y}\right)^{2/3}S^{1/2}, \tag{1}$$

式中，V 為斷面流速 m/s；n 為曼寧粗糙係數，採用 0.02；W 為溝底寬 m；y 為水深 m；S 為渠道縱向坡降。

四、土石流流量分析

災害發生時，土石流流量為災害規模與風險防治等重要評估指標參數，因此有必要先釐清東縣 DF093 在不同重現期距和颱風事件之土石流流量參數。

4-1 清水流流量(Q_P)

對於集水區面積未超過 1,000 ha，可採用合理化公式(2)進行清水流流量分析計算(水土保持局，2017)。

$$Q_P=\frac{CIA}{360}, \tag{2}$$

式中，Q_P 為清水流流量 m^3/s；C 為逕流係數；I 為降雨強度 mm/hr；A 為集水區面積 ha。

本研究利用農業部農村發展與水土保持署所研發之 BigGIS 巨量空間資訊系統(2024)進行東縣 DF093 集水區不同重現期距下之降雨強度與清水流流量查詢，結果如表 2 所示。

4-2 土石流流量(Q_D)

藉由式(2)得知清水流流量，可代入下式計算東縣 DF093 之土石流流量(詹錢登，2000；Takahashi, 2007)，結果由表 3 所示。

$$Q_D=\frac{C_*}{C_*-C_d}Q_P, \tag{3}$$

式中，Q_P 為清水流流量 m^3/s；C_* 為最大土砂體積濃度，採用 0.67(Chen, et al., 2019)；C_d 為平衡土砂體積濃度，如式(4)：

$$C_d=\frac{\gamma_w\tan\theta}{(\gamma_s-\gamma_w)(\tan\phi-\tan\theta)}, \tag{4}$$

式中，γ_s 為土粒單位重 kN/m^3，取值 $26\ kN/m^3$；γ_w 為水體單位重 kN/m^3，取值 $9.81\ kN/m^3$；ϕ 為土砂內摩擦角度，採 35°；θ 為溪床平均坡度，採用 15°，C_d 可求得為 0.38。

五、結果與討論

5-1 圓規颱風與杜蘇芮颱風雨量分析結果

本研究利用勝林山雨量站(C0S098)降雨資料分析2021 年圓規颱風與 2023 年杜蘇芮颱風，從兩場事件之雨量觀測資料分析得知，二次致災原因與事件之降雨強度有密切關聯，因受長延時降雨導致東縣 DF093 溪水暴漲。據謝正倫等人(1992)在臺東縣分析結果，當降雨強度大於 27 mm/hr 且累積雨量超過 360 mm 時，土壤易達到飽和狀態，降低邊坡土層穩定性。此外，充足水分還會降低抗剪能力和凝聚力，使邊坡更容易滑動。從表 1 得知兩場事件皆符合上述分析結果。

5-2 現地調查結果

經圖資判釋與現地調查結果，東縣 DF093 溪流長度為 3.18 km、集水區面積 214 ha，再加上能在河道明顯判別出發生區、流動區及堆積區，因此判定東縣 DF093 屬溪流型土石流(Lorente, et al., 2002；陳天健等，2015)。而防砂壩下游之發生區，河道側岸侵蝕有持續發育之跡象(圖 9)，為下次災害孕育豐富料源。



圖 5 流動區巨石堆積形成尼克點(2023 年 12 月 23 日)



圖 6 農路(農東武 001)路基淘空(2023 年 12 月 23 日)



圖 7 臺鐵高架橋橋涵現況(2023 年 12 月 23 日)



圖 8 富山橋橋涵現況(2023 年 12 月 23 日)



圖 9 發生區河道側岸侵蝕發育(2023 年 12 月 23 日)

5-3 通洪斷面分析

本研究分析東縣DF093集水區各重現期距與2021年圓規颱風、2023 年杜蘇芮颱風兩場降雨事件之各流量數據(表 3)，同時利用式(1)檢視臺鐵高架橋橋涵與富山橋橋涵通洪斷面(表 4)，前者為 80.32 m^3/s；後者為 1,471.4 m^3/s。

從清水流流況分析結果得知，除臺鐵高架橋橋涵重現期距 100 年之清水流流量 80.98 m^3/s 大於通洪斷面流量 80.32 m^3/s，各重現期距和兩場降雨事件之清水流流量均足夠穩定通過臺鐵高架橋橋涵與富山橋橋涵。

臺鐵高架橋橋涵重現期距 50 年、100 年之土石流流量為 169.64 m^3/s 與 184.29 m^3/s，而兩場事件(圓規、杜蘇芮)之土石流流量為 99.08 m^3/s 與 98.51 m^3/s。富山橋橋涵重現期距 50 年、100 年之土石流流量為 150.4 m^3/s 與 163.39 m^3/s，而兩場事件(圓規、杜蘇芮)之土石流流量為 87.85 m^3/s 與 87.34 m^3/s。從分析結果得知，富山橋橋涵通洪斷面流量為 1,471.4 m^3/s，能滿足各重現期距和兩場降雨事件之土石流流量；反之，臺鐵高架橋橋涵通洪斷面流量僅有 80.32 m^3/s。

綜整上述，臺鐵高架橋橋涵和富山橋橋涵通洪斷面雖符合重現期距 50 年以上清水流流量設計標準(水土保持局，2023)，若考慮土石流流量條件，臺鐵高架橋橋涵則有通洪斷面不足之虞，當土砂量體於此持續堆積，將間接導致富山橋橋涵通洪斷面受阻，進而影響台 9 線交通安全。

六、結論與建議

台 9 線 411K 富山橋路面二次致災主要原因為東縣 DF093 屬溪流型土石流，受極端氣候影響，高強度降雨迫使河道邊坡側岸侵蝕嚴重，亦為土石流帶來豐富土砂料源；當土石流流經臺鐵高架橋橋涵，因通洪斷面不足，導致土砂堆積於此，在連續土砂堆積溢淹下，進一步影響富山橋橋涵通洪斷面受阻。因此建議相關權責單位可針對 DF093 之流動區進行土砂攔阻穩固坡趾，並定期進行土砂清疏，同時重新檢視臺鐵高架橋橋涵之通洪斷面，研擬調適對策，以確保富山橋在颱風豪雨事件能安全無虞。

表 1 東縣 DF093 災害事件之降雨資料分析

颱風事件(年)	圓規(2021 年)	杜蘇芮(2023 年)
降雨延時(hr)	27	38
累積雨量(mm)	418	497.8
最大降雨強度(mm/hr)	86.5	86

表 2 東縣 DF093 不同重現期距之清水流流量(農業部農村發展及水土保持署，2024)

集流時間 t_c (min)	重現期距 T (年)	降雨強度 I (mm/hr)	清水流流量 Q_P (m^3/s)
9.65	10	118.5	52.84
	25	135.41	60.38
	50	148.21	66.09
	100	161	71.79

表 3 東縣 DF093 土石流流量分析

土石流流量分析	臺鐵高架橋橋涵				富山橋橋涵			
重現期距與颱風事件	50(年)	100(年)	圓規 (2021 年)	杜蘇芮 (2023 年)	50(年)	100(年)	圓規 (2021 年)	杜蘇芮 (2023 年)
清水流流量 Q_P (m^3/s)	74.54	80.98	43.54	43.29	66.09	71.79	38.6	38.38
土石流流量 Q_D (m^3/s)	169.64	184.29	99.08	98.51	150.4	163.39	87.85	87.34

表 4 東縣 DF093 通洪斷面檢討

排水構造物	尺寸(m)		曼寧粗糙係數 n	渠道縱坡 S ( )	斷面流速 V (m/s)	清水流流量 Q_P (m^3/s)
	溝底寬 W	通洪斷面最高水深 y				
臺鐵高架橋橋涵	3	2.5	0.02	3	10.71	80.32
富山橋橋涵	60	2		1.5	12.26	1,471.4

誌 謝

本研究承蒙國家科學及技術委員會(NSTC 112-2625-M-020-001-)以及農業部農業發展與水土保持署創新研究計畫(ARDSWC-113-056)經費補助，謹此致謝。

參考文獻

1. 何春蓀，「中央山脈西翼及脊梁山脈區的地質」，地工技術雜誌，第 19 期，第 81~90 頁，1987。
2. 詹錢登，「土石流概論」，第 1~137 頁，科技圖書股份有限公司，2000。
3. 施國欽，「大地工程學(三)-工程地質篇」，第五版，第 3-24~3-30 頁，文笙書局，台北市，2014。
4. 謝正倫、江志浩、陳禮仁，「花東兩縣土石流現場調查與分析」，中華水土保持學報，第 23 卷，第 2 期，第 109~122 頁，1992。
5. 陳天健、王振宇、陳柏龍，「坡面型土石流之地形特徵與判別方法」，中華水土保持學報，第 46 卷，第 3 期，第 133~141 頁，2015。
6. 國家災害防救科技中心，「112 年度豪雨及颱風事件災情彙整報告」，2023。
7. 行政院農業委員會水土保持局，「水土保持手冊」，2017。
8. 行政院農業委員會水土保持局，「水土保持技術規範」，2023。
9. 行政院農業委員會水土保持局，「110 年圓規颱風重大土砂災例正式報告臺東縣-大武鄉大竹村」，2021。
10. 交通部中央氣象署，https://cwa.gov.tw，2024。
11. 經濟部地質調查及礦業管理中心，https://gsmma.gov.tw，2024。
12. 農業部農業試驗所，https://tari.gov.tw，2024。
13. 農業部農村發展及水土保持署，BigGIS 巨量空間資訊系統，https://data.geodac.tw，2024。
14. 國家災害防救科技中心，「全球災害事件簿」，https://den.ncdr.nat.gov.tw/，2024。
15. Chen, Y.S., Kuo, Y.S., Lai, W.C., Tsai, Y.J., Lee, S.P., Chen K.T., Shieh, C.L. "Reflection of Typhoon Morakot-The challenge of compound disaster simulation," Journal of Mountain Science, Vol. 8, No.4, pp. 571~581, 2011.
16. Chen, K.T., Chen, X.Q., Hu, G.S., Kuo, Y.S., Huang, Y.R., Shieh, C.L. "Dimensionless Assessment Method of Landslide Dam Formation Caused by Tributary Debris Flow Events" Geofluids, vol. 2019, pp. 14, 2019.
17. Dong, J.J., Li, Y.S., Kuo, C.Y., Sung, R.T., Li, M.H., Lee, C.T., Chen, C.C., Lee, W.R. "The formation and breach of a short-lived landslide dam at Hsiaolin village, Taiwan—Part I: Post-event reconstruction of dam geometry," Engineering Geology, Vol. 123, pp. 40~59, 2011.
18. Lorente, A., García-Ruiz, J.M., Beguería, S., Arnáez, J.. "Factors Explaining the Spatial Distribution of Hillslope Debris Flows: A case Study in the Flysch Sector of the Central Spanish Pyrenees." Mountain Research and Development, Vol. 22, No. 1, pp. 32~39, 2002.
19. Takahashi, T. Debris flow mechanics, prediction and countermeasures, Taylor & Francis Group, London, UK, 2007.
20. Tsai, Y.J., Syu, F.T., Shieh, C.L., Chung, C.R., Lin, S.S., Yin, H.Y. "Framework of emergency response system for potential large-scale landslide in Taiwan," Water, Vol. 13, No. 5, pp. 712, 2021.