

一、計畫概述

(一) 整體計畫概述

1. 研究目的、計畫背景、整體構想

(1) 研究目的

經濟部中央地質調查所於 99-104 年度執行「國土保育之地質敏感區調查分析計畫」，利用空載光達(LiDAR)已完成測製全島高精度數值地形，並參考崩塌微地形特徵，判釋潛在大規模崩塌呈現的重力變形邊坡特徵。國內其他坡地崩塌防災權責分工單位，如水保局、林務局也投入幅員廣大之崩塌特徵判釋、崩塌潛勢評估、崩塌地監測、崩塌地影響範圍，以及後續保全管理維護等相關規範研擬，至今已有部分具體成效。經濟部中央地質調查所則將聚焦於細緻化坡地場址地質調查技術與各項前端影像判釋方法、地球物理探測技術與物理變形模式及機制之研究發展。

(2) 計畫背景

根據國內外研究，坡地崩塌大部分為外在因素所誘發，如降雨或地震，其中降雨與誘發山崩之關係，在多種降雨門檻模式中被推估應用；然而大部分之情況下，因缺少山區微地形之變化、地表植生狀況、現地降雨入滲及水文條件等掌握，仍然無法了解何種機制會造成特定區位之邊坡產生快速運動行為。近年研究已在邊坡重力變形之類型及發生機制有所突破；若產生深層滑動，則滑動面附近之材料變形或破壞行為也可進一步試驗及模擬；而入滲水或地下水對於坡體穩定性之影響，亦為了解變形及破壞機制之基本問題。

因此本計畫擬定三維水文地質模型調查及三度空間變形觀測為重點方向。三維水文地質模型為在高解析度之地形條件下，進行整體坡地之穩態及暫態地下水流場分析。三度空間變形觀測則包含空中、地表及地下分層各種背景數據及變形觀測資料收集。經由進一步將空間分布之水力條件、變形行為及破壞模式結合，探討建立及驗證坡面淺層破壞與深層滑動之可能情境及模式。

(3) 整體構想

本計畫為 5 年期研究計畫，預計以年度為單位，每年指定 1 處潛在大規模崩塌區位進行場址調查觀測及變形機制分析，並經由滾動修正各年工作流程及方法，預計可針對降雨引致坡地失穩之條件有更細緻之掌控，並完成坡地場址地質調查與變形破壞模式分析。

2. 工作內容概述

本計畫工作內容主要分為以下五大主軸，包括：(1) 坡地場址地質調查、(2) 三維水文地質模型建立及驗證、(3) 三度空間坡地活動性評估系統建置、(4) 動態水文條件下之破壞力學分析、(5) 車心崙場址持續觀測及回饋分析等工作。根據過去兩年計畫成果及今年度(108)計畫場址特性，滾動修正部分工作方法及數量如表 1.1.2-1 所示。茲摘錄各項工作內容如下：

表 1.1.2-1 滾動式檢討工作項目

Table 1.1.2-1 Review work items

待釐清問題	工作項目	調整建議
牛鬥斷層影響	地質鑽探取樣工作	<ul style="list-style-type: none"> ● 參照可能傾角變化進行鑽探配置 ● 鑽探總深度增加 20 公尺，總計 320 公尺
封塞水力試驗侷限性	岩體透水係數推估	<ul style="list-style-type: none"> ● 新增「岩體透水係數推估模式」工項 ● 配合鑽探及封塞水力試驗推估地層連續透水係數
	封塞水力試驗	<ul style="list-style-type: none"> ● 由 2 孔調整為執行 1 孔封塞水力試驗
孔內速度井測調查成效有限	孔內速度井測調查	<ul style="list-style-type: none"> ● 適用於探查深部完整岩層資訊，本計畫挑選場址均屬地質破碎且地下水系統複雜 ● 刪除速度井測調查及相關擴孔費用 ● 地層剪力波速改由「主動/被動表面波震測法」獲取
折射震測法成效有限	折射震測法	<ul style="list-style-type: none"> ● 現場施測人工震源能量無法順利傳遞，導致測深不足 ● 刪除折射震測法，由「主動/被動表面波震測法」取代
	主動/被動表面波震測法	<ul style="list-style-type: none"> ● 取代「孔內速度井測調查」、「折射震測法」工項 ● 可獲得較深地層剪力波速訊息之表面波震測進行
地震站數量有限	地動觀測系統建置	<ul style="list-style-type: none"> ● 除保留一處寬頻地震儀外，其餘改以地聲計取代 ● 地震站數量增加至 6 站 ● 測試相關技術應用於大規模崩塌地之適用性
	山崩門檻值初探	<ul style="list-style-type: none"> ● 破壞力學分析新增「山崩門檻值初探」工項

山崩門檻值初探及 精進研究	山崩門檻值精進研究	● 持續觀測及回饋分析新增「山崩門檻值精進研究」工項
------------------	-----------	----------------------------

(1) 坡地場址地質調查

工作內容包含：(a) 地表地質調查、(b) 地質鑽探及取樣、(c) 孔內試驗、(d) 地電阻剖面法、(e) 主動/被動表面波震測法、(f) 室內試驗、(g) 岩體透水係數推估等。

(2) 三維水文地質模型建立及驗證

工作內容包含：(a) 三維水文地質概念模型建立、(b) 三維地下水流模式參數率定與驗證、(c) 三維地下水流場分析等。

(3) 三度空間坡地活動性評估系統建置

工作內容包含：(a) 地表變位量測、(b) 地下觀測系統建置、(c) 地動觀測儀器建置等。

(4) 動態水文條件下之破壞力學分析

工作內容包含：(a) 二維水文地質概念模型建立、(b) 穩定性評估及情境模擬、(c) 重力變形引致之潛變分析、(d) 山崩門檻值初探、(e) 破壞情境下坡影響範圍評估、(f) 基地地質調查及地質安全評估報告等。

(5) 車心崙場址持續觀測及回饋分析

工作內容包含：(a) 車心崙場址持續觀測、(b) 車心崙場址三維地下水流模式回饋分析、(c) 車心崙場址二維穩定性評估及情境模擬回饋分析、(d) 車心崙場址山崩門檻值精進研究、(e) 車心崙場址破壞情境下坡影響範圍精進評估。

3. 計畫成果效益及其應用

本計畫預期透過各項細緻化坡地場址地質調查技術與各項前端影像判釋方法、地球物理探測技術與物理變形模式及機制之研究發展，將可整合空間分布之水力條件、變形行為及破壞模式，以探討、建立及驗證坡面淺層破壞與深層滑動之可能情境及模式。計畫成果除有助於提升坡地各項調查觀測及數值評估技術外，並參照「地質敏感區基地地質調查及地質安全評估手冊」規定撰寫「基地地質調查及地質安全評估報告」，並研提修正建議。

(二) 108(本)年度計畫概述

1. 本年度工作項目

本計畫 108(本)年度之坡地場址為宜蘭縣大同鄉，崩塌地編號為 D007 梵梵崩塌地。工作內容為：

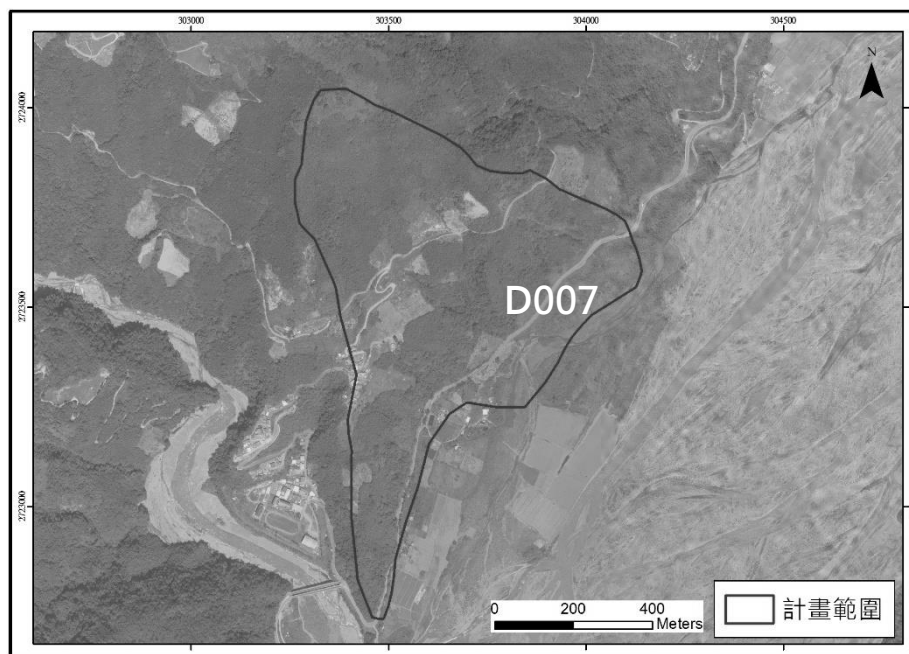


圖 1.2.1-1 本計畫 108(本)年度計畫範圍

Figure 1.2.1-1 Scope of the plan for 2019

(1) 坡地場址地質調查

本場址之區域調查與細部調查之工作，係參考地質敏感區基地地質調查及地質安全評估手冊之調查項目要求(以下簡稱調查評估手冊)，附加上建立水文地質模型之調查工作，而有關地質鑽探，地球物理探查等主要調查工作，則將與經濟部中央地質調查所討論規劃配置後始得施作。各分項工作分述如后。

A. 地表地質調查

調查範圍內數值地形，已申請使用 1 公尺高解析度之 DEM 地形資料，進行細部崩塌特徵之判釋工作。地質圖資比例尺規格、歷史崩塌及雨量資料收集、現地調查成果呈現，將參閱調查評估手冊。另以最近期航拍影像判釋現地狀況。

B. 地質鑽探及取樣

搭配地電阻剖面法、表面波震測法，於調查範圍內，不同崩塌塊體及崩塌區位完成 4 孔地質鑽探，總長度達 320 公尺。本團隊自行準備岩心箱及堆放用棧板，鑽探之岩心採 HQ 旋鑽連續取樣方式施工，鑽探日報將每天記錄上、下工水位、迴水情形及施工期間驟變之水位，有關鑽探取樣及岩心紀錄等相關規定，係參閱調查評估手冊。

C. 孔內試驗

上述鑽孔擇 2 孔進行完整井深之全井地球物理井測，施測項目至少包括自然電位、自然伽瑪、長短距電阻率、波速孔隙率、孔內超音波攝影、地下水流速及流向量測等，其中擇 1 深孔進行封塞水力試驗(獲取水平向透水係數)。此外亦需搭配岩心進行裂隙及不連續面之判別分析。

D. 地電阻剖面法

為探討三維地下岩層、地下水分布，本計畫進行 4 條剖面，總長超過 1,300 公尺，測深至少達 50 公尺。

E. 主動/被動表面波震測剖面法

為獲得較深地層之剪力波速訊息，採用主動/被動表面波震測進行調查。本計畫進行 3 條剖面，總長超過 500 公尺。

F. 室內土壤及岩石試驗

參考前述各大項工作，進行所需之土壤及岩石各項室內試驗。

G. 岩體透水係數推估

透過現地試驗資料，建立影響因子及岩體指標與現地所量測之透水係數之關聯性，來確認所採納因子與各指標的可靠度，接續利用迴歸分析技術，建立岩屑層與裂隙岩體滲透性推估模式，獲取垂直空間水文地質參數之變異性，以提供模式分析所需之基本關鍵資料。

(2) 三維水文地質模型建立及驗證

A. 三維水文地質概念模型建立

將以工作項目一中之水文地質調查成果，來建立三維分層及水文地質概念模式，若地表地質初步判釋有數個潛在變形區塊時，將針對重點區域進行水文邊界劃分。

B. 三維地下水流模式參數率定與驗證

為確保模式之準確度與正確性，在模擬過程中輸入降雨條件作為入滲邊界，模擬每一時階之地下水位與土壤含水量之變化，並與實際監測資料進行比對分析，以完成模式率定與驗證工作

C. 三維地下水流場分析

利用公式推算或數值模擬軟體，建立研究區域淺層之水文地質數值模型，模型網格大小需測試估計值與觀測值之吻合度，模擬飽和及非飽和層之三維地下水流場，並設計以地層含水量之量測或分層地下水位觀測，進行地下水滲流造成之飽和度改變，以及優勢水流路徑分析等穩態及暫態模式分析。

(3) 三度空間坡地活動性評估系統建置

A. 地表量測

本場址已於 106 年度運用簡易單頻 GPS 連續站進行地面位移觀測 (現有簡易 9 組 GPS 站及 1 組雨量站由經濟部中央地質調查所持續維護觀測)。本計畫搭配即時動態定位系統(RTK)進行率定，本年度須進行 5 次現地量測(跨越汛期)，量測總長度超過 300 公尺，就地表變位情況進行觀測所關注之塊體，並搭配全測站測量，跨汛期前後各施作 1 次(共至少 2 次)，提升地表變位量測精度。另選取至少三處地動感震器位置，利用 GPS 至少進行 5 次單點紀錄，配合單頻 GPS 連續站資料，進行靜態基線計算，將可提升解算單點精度與 RTK 基站的絕對位置。

B. 地下觀測系統建置

地下觀測至少包含滑動面觀測系統(如測傾管、光纖量測、TDR 量測或其他方式)、淺層土壤含水量觀測系統、地下水位觀測井(視調查結果評估分層觀測之可能性及建議深度)及自記式水壓計裝設等，目的為率定三維水文地質模式以及記錄未來變化值。

C. 地動觀測儀器建置

本計畫在坡地場址內部安裝 5 組地聲計(Geophone, G)與場址外圍寬頻地震儀(Broadband Seismometer, BB)1 組，共計 6 組三軸向地動感震器，其中地聲計須配合省電型震波資料紀錄器使用。各紀錄器以高頻取樣率記錄連續地動訊號(頻段須至少包含 1-50 Hz)及進行基礎分析(訊號須轉成速度值以及 sac 格式，並提供能讀取波形、濾波器及時頻分析之程式碼，針對特殊事件紀錄進行時頻分析、雙站地震儀交互相關分析函數、地表噪訊之時序分析)。儀器擺放及記錄時間至少須跨汛期且 3 個月以上。並探討地震儀應用於坡地監測之相關成效，包含崩塌地面上環境振動特性、地下震波速度變化與地下水位及地中位移之關聯性、坡地上地震訊號特徵。

(4) 動態水文條件下之破壞力學分析

坡地在降雨入滲歷程中會導致地中含水量增加、孔隙水壓或地下水位之變化，進而產生坡體變形或破壞行為。因此本工作由前項工作建立二維水文地質模型後，需考量降雨入滲條件及變形破壞力學，建構坡地動態水文及力學之分析程序，並探討動態水文條件下坡地可能之破壞機制及行為。

A. 二維水文地質概念模型建立

以工作項目一中之水文地質調查成果，來建立二維分層及水文地質概念模式(除參照三維水文地質概念模型外，依實際調查狀況將不同岩性之岩盤進行區分)。

B. 穩定性評估及情境模擬

以模式推估或文獻探討，釐清未飽和地層在動態水文條件下發生淺層崩塌之降雨及水文條件，探討情境包含常時、高水位及地震等三種情境。

C. 重力變形引致之潛變分析

以模式推估或文獻探討，釐清深層重力變形體之變形行為及潛在滑動面之剪滑動機制，並探討其與滑動面觀測變位之關聯性。

D. 山崩門檻值初探

以前述分析成果為基礎，逕行給定不同水位高程或地震力條件，用以探討降雨或地震誘發山崩之機制，進而概估降雨及地震誘發山崩門檻值。

E. 破壞情境下坡影響範圍評估

本計畫經破壞模式評估後，進行破壞情境模擬，探討不同降雨或地震條件下可能造成之邊坡破壞型態，並以動畫展示塊體崩塌後之可能影響範圍。

F. 基地地質調查及地質安全評估報告

彙整本計畫調查與評估成果，參照「地質敏感區基地地質調查及地質安全評估手冊」規定撰寫「基地地質調查及地質安全評估報告」，並研提修正建議。

(5) 車心崙場址持續觀測與回饋分析

A. 車心崙場址持續觀測

本年度於颱風汛期前後各進行一次 RTK 及全測站測量與分析，持續維運地下觀測系統(水位、含水量及地中位移)與地動觀測網(環境振動訊號時頻分析、雙站交互相關函數分析、地震訊號特徵分析)。

B. 車心崙場址三維地下水流模式回饋分析

本年度配合車心崙持續維運的淺層含水量、地下水位資料進行三維地下水流模式驗證、率定及回饋分析。

C. 車心崙場址二維穩定性評估及情境模擬回饋分析

本年度配合車心崙持續維運的淺層含水量、地下水位及地中變位資料進行二維穩定性評估模式驗證與率定及情境模擬回饋分析。

D. 車心崙場址山崩門檻值精進研究

以前述分析成果及車心崙持續維運觀測資料為基礎，透過二維降雨入滲-地下水滲流-穩定性評估程序，探討降雨或地震誘發山崩之機制，進而精進評估降雨及地震誘發山崩門檻值。

E. 車心崙場址破壞情境下坡影響範圍精進評估

配合前述分析成果，修正不同降雨或地震條件下可能造成之邊坡破壞型態，並以動畫展示塊體崩塌後之可能影響範圍。

2. 預期成果及具體績效

財團法人中興工程顧問社與國立交通大學於計畫執行期間分別完成現地調查、現地觀測與室內試驗及分析等工作項目，預期成果及具體績效條列如下：

(1) 現地調查

- 參照「地質敏感區基地地質調查及地質安全評估手冊」規定辦理地表地質調查
- 至少進行 4 孔地質鑽探，總長度達 320 公尺
- 挑選 2 孔進行完整井深之全井地球物理井測，擇 1 深孔進行封塞水力試驗
- 進行至少 4 條地電阻剖面法，總長度達 1,300 公尺
- 進行至少 2 條主動/被動表面波震測剖面，總長度達 500 公尺

(2) 現地觀測

- 進行即時動態定位系統(RTK)量測，至少跨越汛期執行 5 次以上
- 全測站測量，跨汛期前後各施作 1 次
- 建置地下觀測系統，觀測項目包含滑動面觀測、淺層土壤含水量觀測、地下水位觀測
- 建置地動觀測系統，布設至少 6 組地動觀測儀器，記錄時間至少須跨汛期且 3 個月以上

(3) 室內試驗及分析

- 完成室內土壤及岩石試驗(25 組室內試驗)
- 完成 1 孔之岩體透水係數推估(配合執行封塞水力試驗之探測孔)
- 完成三維水文地質模型建立及驗證，包含三維水文地質概念模型建立、三維地下水流模式參數率定與驗證及三維地下水流場分析
- 完成動態水文條件下之破壞力學分析，包含二維水文地質概念模型建立、穩定性評估及情境模擬、重力變形引致之潛變分析、山崩門檻值初探、破壞情境下坡影響範圍評估
- 完成基地地質調查及地質安全評估報告

- 完成車心崙場址回饋分析，包含車心崙場址三維地下水流模式回饋分析、車心崙場址二維穩定性評估及情境模擬回饋分析、車心崙場址山崩門檻值精進研究、車心崙場址破壞情境下坡影響範圍精進評估

3. 交付項目

本計畫透過各項細緻化坡地場址地質調查技術與各項前端影像判釋方法、地球物理探測技術、地震學技術與物理變形模式及機制之研究發展，將可整合空間分布之水力條件、變形行為及破壞模式，以探討、建立及驗證坡面淺層破壞與深層滑動之可能情境及模式。本計畫具體產出及交付成果條列如下：

(1) 期中階段

- 坡地場址地質調查成果(包含地表地質調查、地質鑽探、孔內試驗、地電阻剖面、主動/被動表面波震測等)

(2) 期末階段

- 水文地質鑽探之工程地質探勘資料庫檔案
- 室內土壤與岩石試驗成果
- 岩體透水係數推估成果
- 三維水文地質模型建立及驗證成果
- 坡地場址觀測成果(包含地表位移觀測、地中變形觀測、地下水位(壓)觀測、地動訊號觀測)
- 動態水文條件下之破壞力學分析成果
- 車心崙場址持續監測與回饋分析成果
- 基地地質調查及地質安全評估

(三) 計畫工作流程

計畫之工作項目有：(一) 坡地場址地質調查；(二) 三維水文地質模型建立及驗證；(三) 三度空間坡地活動性評估系統建置；(四) 動態水文條件下之破壞力學分析；(五) 車心崙場址持續觀測及回饋分析等，研擬工作流程如圖 1.3-1 所示，詳細內容分述如后。

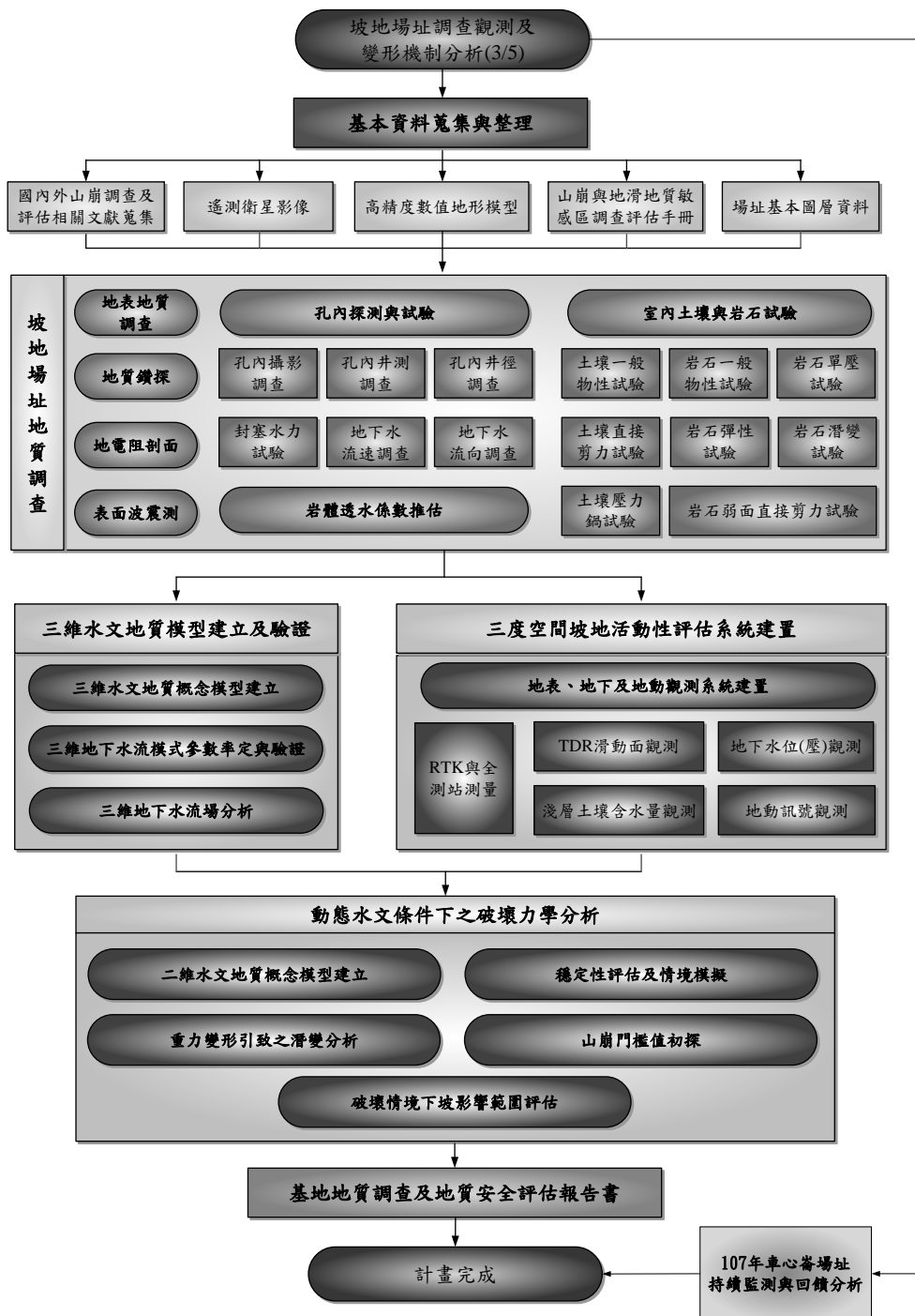


圖 1.3-1 本計畫工作流程圖

Figure 1.3-1 Flowchart of the plan