

內政部國土測繪中心(NLSC-108-22)

**108 年度三維道路模型
資料建置試辦採購案
2019 3D Road Model Building Pilot
Plan**

**工 作 總 報 告
Final Report**

主辦機關：內政部國土測繪中心
National Land Surveying and Mapping
Center(NLSC)

執行單位：臺灣世曦工程顧問股份有限公司
CECI ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

中 華 民 國 108 年 12 月 27 日

摘要

內政部國土測繪中心管有各項基礎及核心之國土測繪資料，包括臺灣通用電子地圖、地籍圖和國土利用調查成果圖等各類圖資，並建置「國土測繪圖資服務雲」，藉由 2D 與 3D 圖臺的展示，讓全民可應用及共享國土測繪成果。

內政部與國家發展委員會積極推動將現有 2D 國家底圖升級為 3D 國家底圖，定調以「數值地形模型 (DEM)」及「臺灣通用電子地圖」作為必備元件，正式啟動「三維國家底圖建構工程」，以深化我國 3D 加值智慧應用及產業發展。三維道路模型做為三維國家底圖建構的其中一環。國土測繪中心於 108 年辦理「108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案」，以此作為後續全面推動全臺建置三維道路模型之前置作業。

「108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案」主要工作包含國內外三維道路資料建置概況及分析、研擬三維彩帶式道路模型作業方法及流程、三維彩帶式道路模型試辦實作及規劃三維鐵路及捷運模型建置方法，建置三維彩帶式道路模型包含平面道路、立體道路、隧道、橋梁、地下道、交流道等六種不同道路類型。此六種類型為參考臺灣通用電子地圖內的道路結構進行分類，依據不同的道路類型採用不同的高程資料。

本案以內政部提出三維道路模型建置作業流程為基礎，規劃以臺灣通用電子地圖成果結合數值地形模型建置三維彩帶式道路模型的作業流程，同時分析建置時間及成本，並於試辦區域實際驗證作業流程，最後研擬全臺三維道路建置策略、時間及成本評估分析，作為全臺建置三維道路模型的參考。

臺灣世曦工程顧問股份有限公司有幸參與「108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案」建置試辦工作，在國土測繪中心指導下秉持一貫的工作熱忱，順利完成本案交付任務。

關鍵字：臺灣通用電子地圖、數值地形模型、三維彩帶式道路模型、LOD1 道路模型、全臺三維道路建置策略。

工作總報告

目錄

第一章	計畫概述與作業規劃	1
1.1	計畫緣起.....	1
1.2	工作範圍與計畫目標.....	2
1.3	工作項目	4
1.4	契約時程與交付成果.....	6
1.5	作業流程及時程規劃.....	7
1.6	作業人員性別平等資訊統計.....	9
第二章	國內外三維道路資料建置概況及分析	10
2.1	國外文獻蒐集與分析.....	10
2.2	國內三維道路需求及建置經驗訪談.....	21
第三章	運用現有圖資建置三維道路模型方法	33
3.1	建立道路面多邊形.....	35
3.2	重建位相關係.....	38
3.3	折點加密.....	47
3.4	高程資料處理.....	47
3.5	高程平滑化.....	49
3.6	道路模型建置.....	50
3.7	道路紋理材質建置.....	52
3.8	無法透過現有圖資產製三維道路模型處理方案.....	54
3.9	三維道路模型建置之策略、時間及成本分析.....	56
第四章	規劃三維鐵路及捷運模型建置方法	75
4.1	三維鐵路及捷運模型資料來源分析.....	75
4.2	三維鐵路及捷運模型建置方法規劃.....	76
第五章	三維道路模型試辦實作	80
5.1	試辦區域挑選.....	80
5.2	三維道路模型展示.....	81
第六章	品質分析及檢核	97
6.1	道路模型成果精度檢核.....	97
6.2	道路模型成果屬性檢核.....	98
6.3	道路坡度合理性檢核.....	98

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案

6.4 模型資料格式轉換成果檢核.....	98
第七章 結語與建議	100
參考文獻	104

附 錄：

- 附錄一、 三維道路需求訪談會議紀錄
- 附錄二、 各單位訪談簽到簿
- 附錄三、 作業檢核表單
- 附錄四、 計畫收發文紀錄
- 附錄五、 歷次工作會議決議與辦理情形
- 附錄六、 地籍測量學會會刊投稿摘要
- 附錄七、 工作總報告審查意見回覆彙整表

表 目 錄

表 1-1	CITYGML 對 LOD1~LOD3 提出的建議精度	2
表 1-2	成果繳交項目、內容一覽表	6
表 1-3	本案作業人員性別比例統計表	9
表 2-1	瑞士、荷蘭、香港、新加坡及美國紐約三維製圖產品列表	11
表 2-2	訪談單位彙整表	22
表 2-3	各訪談單位問題彙整表	23
表 2-4	訪談情況彙整表	25
表 3-1	全臺多元道路類型占比表	34
表 3-2	三種建立道路面多邊形方法比較表	36
表 3-3	電子地圖道路中線圖層欄位資料表	38
表 3-4	五種道路面分割方式分析表	43
表 3-5	五種道路面分割方式優缺點比較表	43
表 3-6	路口單價費用表	57
表 3-7	道路長度單價費用表	57
表 3-8	各道路等級與道路類型整體成本分析表	60
表 3-9	策略一逐年成本費用分析表	63
表 3-10	策略二逐年成本費用分析表	64
表 3-11	各縣市整體成本分析表	64
表 3-12	各縣市各道路等級整體成本分析表	65
表 4-1	中線結構欄位對應表	75
表 4-2	電子地圖鐵路中線圖層欄位資料表	76
表 4-3	電子地圖捷運中線圖層欄位資料表	76
表 4-4	107 年臺灣通用電子地圖鐵路捷運數量	78
表 5-1	試辦區域道路長度及占比	80
表 5-2	三維道路模型屬性欄位資料表	92
表 6-1	各工作階段之檢核表單	99

圖 目 錄

圖 1-1	全球地理資訊產業成長預估(P&S MARKET RESEARCH, 2017)	2
圖 1-2	道路類型範例說明	3
圖 1-3	整體作業流程圖	7
圖 1-4	工作項目與時程規劃甘特圖	8
圖 2-1	CITYGML 三維道路模型細緻度分級(OGC, 2012)	11
圖 2-2	新加坡三維建物模型成果示意圖	16
圖 2-3	新加坡 LOD1 三維道路模型成果示意圖	16
圖 2-4	新加坡 LOD2 三維道路模型成果示意圖	17
圖 2-5	新加坡 LOD3 三維道路模型成果示意圖	17
圖 2-6	美國紐約三維道路模型細緻度分級	18
圖 2-7	美國 LOD1 三維道路模型成果示意圖	18
圖 2-8	美國 LOD2 三維道路模型成果示意圖	19
圖 2-9	美國 LOD2 道路面分割成果示意圖	19
圖 2-10	道路模型應用淹水模擬示意圖	20
圖 2-11	道路模型應用太陽能潛力分析示意圖	21
圖 2-12	勤崙三維道路模型示意圖	26
圖 2-13	GARMIN 三維道路模型示意圖	26
圖 2-14	模型產製單位需求訪談合影	27
圖 2-15	研究單位需求訪談合影	28
圖 2-16	國道高速公路局道路設施調查成果示意圖	30
圖 2-17	臺灣鐵路路線平面及縱斷面圖	31
圖 2-18	臺北捷運路線平面及縱斷面圖	32
圖 2-19	軌道權責單位需求訪談合影	32
圖 3-1	建置三維道路模型流程圖	35
圖 3-2	利用道路中線及既有欄位建立多邊形示意圖	36
圖 3-3	利用道路中線及計算成果建立多邊形示意圖	37
圖 3-4	電子地圖道路面示意圖	37
圖 3-5	道路分層示意圖	40

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案

圖 3-6	道路面與道路中線建立位相關係示意圖	40
圖 3-7	道路分層成果示意圖	41
圖 3-8	重建位相關係流程圖	41
圖 3-9	依據道路類型不額外分割方式示意圖	44
圖 3-10	三角網自動分割方式示意圖	44
圖 3-11	人工分割方式示意圖	45
圖 3-12	路口分割方式示意圖	46
圖 3-13	道路面單一屬性問題示意圖	46
圖 3-14	折點加密成果示意圖	47
圖 3-15	道路面高程資訊判斷示意圖	48
圖 3-16	道路面高程資訊判斷示意圖	48
圖 3-17	道路高程粗差濾除示意圖	49
圖 3-18	高程平滑化示意圖	49
圖 3-19	道路長度及道路節點數量分佈圖	50
圖 3-20	橋墩模型示意圖	51
圖 3-21	隔音牆模型示意圖	51
圖 3-22	利用道路資訊調查成果產製道路紋理材質示意圖	52
圖 3-23	模擬道路標線產製道路紋理材質示意圖	53
圖 3-24	測繪車辛亥路地下道拍攝影像	55
圖 3-25	國道路口切分處示意圖	58
圖 3-26	快速道路路口切分處示意圖	59
圖 4-1	建置三維鐵路及捷運模型流程圖	77
圖 4-2	軌道路線圖資示意圖	78
圖 5-1	臺北聯絡道區域	80
圖 5-2	三維道路模型整體示意圖	82
圖 5-3	三維道路模型整體示意圖	82
圖 5-4	三維道路模型整體示意圖	83
圖 5-5	一般平面道路模型示意圖	83
圖 5-6	一般平面道路模型示意圖	83

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案

圖 5-7	橋梁模型示意圖	84
圖 5-8	橋梁模型示意圖	84
圖 5-9	高架道路模型示意圖	85
圖 5-10	高架道路模型示意圖	85
圖 5-11	交流道道路模型示意圖	86
圖 5-12	交流道模型示意圖	86
圖 5-13	隧道模型示意圖	87
圖 5-14	隧道模型示意圖	87
圖 5-15	地下道模型示意圖	88
圖 5-16	地下道模型示意圖	88
圖 5-17	地下道街景展示示意圖	88
圖 5-18	模型成果破碎示意圖	89
圖 5-19	模型成果完整示意圖	89
圖 5-20	國土測繪中心三維圖臺三維道路模型成果展示圖	90
圖 5-21	國土測繪中心三維圖臺平面道路成果展示圖	90
圖 5-22	國土測繪中心三維圖臺其它道路成果展示圖	90
圖 5-23	國土測繪中心三維圖臺一般道路成果側面展示圖	91
圖 5-24	國土測繪中心三維圖臺三維道路成果側面展示圖	91
圖 5-25	道路模型成果屬性欄位及描述方式說明圖	92
圖 5-26	地形資料遮蔽情形示意圖	93
圖 5-27	地形資料遮蔽情形示意圖	93
圖 5-28	電子地圖隧道面僅出入口裸露於地表	95
圖 5-29	隧道本體多在地表下	95
圖 5-30	地下道兩種不同結構形式	96
圖 5-31	地表環境配合地下道呈現側面牆面	96

第一章 計畫概述與作業規劃

1.1 計畫緣起

國土規劃、保安、監測、防救災、施政決策及國家發展應用，皆須以國家級地理資訊系統為基礎，行政院爰於 96 年 7 月核定「國家地理資訊系統建置及推動十年計畫」(95 至 104 年)，是以，行政院經濟建設委員會(現為國家發展委員會)將「通用版電子地圖建置計畫」列為優先辦理之分項計畫，並交由內政部國土測繪中心(以下簡稱國土測繪中心)於 96 年度試辦，97 至 100 年度辦理建置作業，並自 101 年度起逐年辦理更新維護作業，為符合各界對圖資時效性殷切需求，自 103 年度起將圖資更新頻率由 5 年縮短為 2 年。為持續更新圖資，將通用版電子地圖更新納入行政院 104 年 9 月 24 日院臺建字第 1040050285 函核定之「落實智慧國土—國土測繪圖資更新及維運計畫(105—109 年)」工作項目之一，並更名為「臺灣通用電子地圖(Taiwan e-Map)」。

此外，經濟部中央地質調查所於莫拉克風災後，積極推動空載光達技術應用於地質災害分析，於 99 至 104 年度辦理「國土保育之地質敏感區調查分析計畫」，以建立全國高精度高解析度之 1 米網格數值地形資料。爾後，由內政部地政司接續辦理「LiDAR 技術更新數值地形模型成果測製工作案」，於 105 至 107 年度持續更新我國中南部、西部沿海平原及東部山區數值地形資料。

然而，在全球智慧城市發展的浪潮下，各國對於三維地理資訊(3D GIS)發展的需求日增。依據市場研究公司 P&S Market Research 於 2017 年 5 月的報告指出，全球地理資訊產業(GIS industry)將以複合年均增長率 10.1% 的速度持續成長，產業規模從 2016 年的 89 億美元將增加至 2023 年的 175 億美元(如圖 1-1)，約合臺幣 5,250 億元，地理資訊產業的快速發展主要受惠於光達、雲端技術的進步，以及空間資料的廣泛建置及方便取得。

是以，內政部與國家發展委員會積極推動將現有 2D 國家底圖升級為 3D 國家底圖，定調以「數值地形模型(DEM)」及「臺灣通用電子地圖」作為必備元件，正式啟動「三維國家底圖建構工程」，以深化我國 3D 加值智慧應用及產業發展。國土測繪中心於 108 年推出「108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案」(以下簡稱本案)，作為建構三維國家底圖的其中一環，臺灣世曦工程顧問股份有限公司(以下簡稱本公司)將執行本案並研擬未來全面性推動三維道路模型建置之方法。

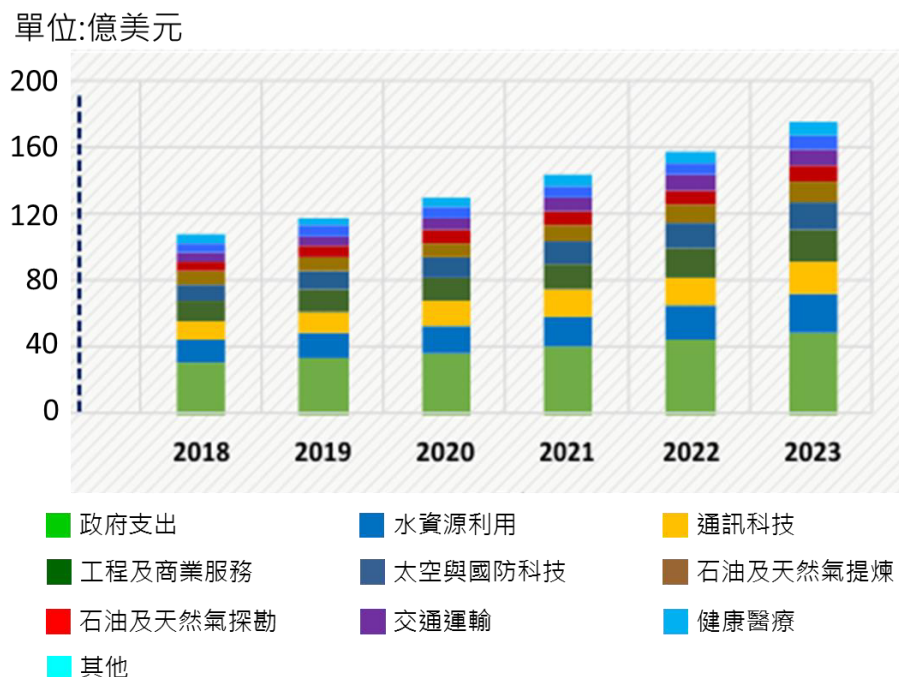


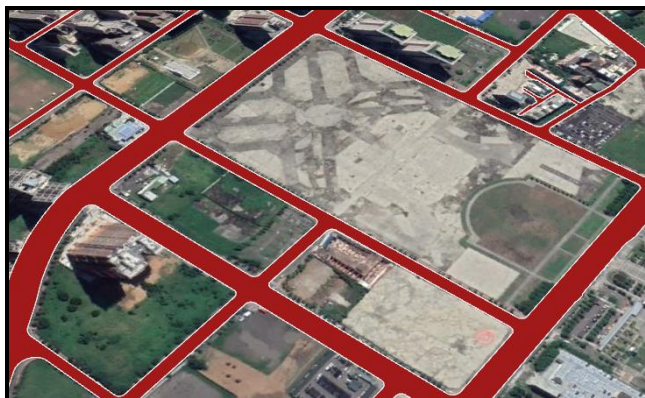
圖 1-1 全球地理資訊產業成長預估(P&S Market Research, 2017)

1.2 工作範圍與計畫目標

本案主要工作包含國內外三維道路資料建置概況及分析、研擬三維彩帶式道路模型作業方法及流程、三維彩帶式道路模型試辦實作及規劃三維鐵路及捷運模型建置方法，目標為產置 LOD1 三維彩帶式道路模型，CityGML 對不同等級模型提出的建議精度如表 1-1，試辦實作成果包含平面道路、立體道路、隧道、橋梁、地下道、交流道等六種不同道路類型，如圖 1-2。此六種類型為參考臺灣通用電子地圖的道路結構進行分類，後續將依據不同道路類型採用不同的高程資料。

表 1-1 CityGML 對 LOD1~LOD3 提出的建議精度

	LOD0	LOD1	LOD2	LOD3
模型尺度	區域，地景	城市，地區	城市，城區	城市區，建築模型(外部)，地標
準度分級	最低	低	中	高
三維精度 (位置；高程)	低於 LOD1	5 公尺；5 公尺	2 公尺；2 公尺	0.5 公尺；0.5 公尺
模型簡化	最大化的叢集	以概括圖徵呈現物件區塊； 所占面積>6*6 平方公尺/3 公尺	以概括圖徵呈現物件； 所占面積>4*4 平方公尺/2 公尺	以真實圖徵呈現物件； 所占面積>2*2 平方公尺/1 公尺



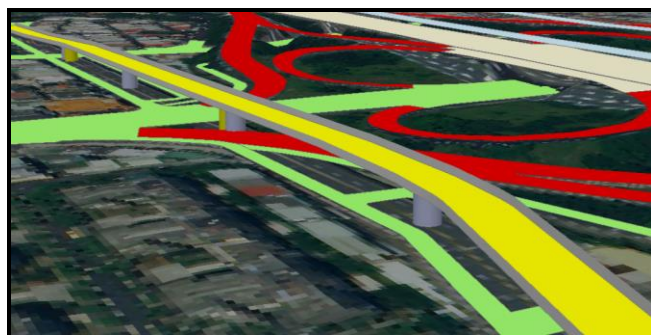
(a)平面道路模型示意



(b)立體道路模型示意



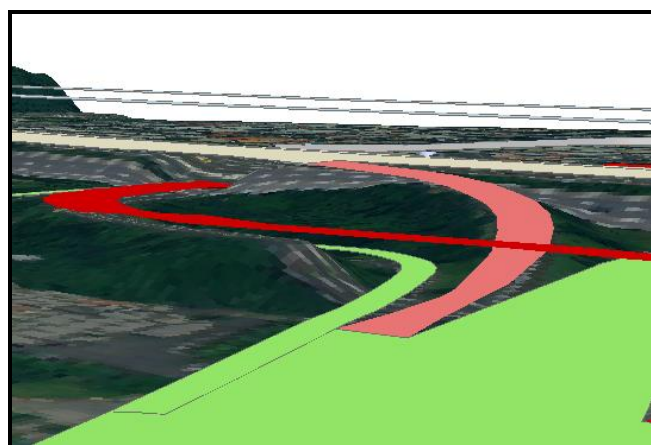
(c)三維隧道模型示意圖



(d)三維橋梁模型示意圖



(e)地下道示意圖



(f)交流道示意圖

圖 1-2 道路類型範例說明

承 1.2 節所描述，本案計畫目標歸納如下：

- (一) **文獻資料蒐集**：蒐集整理國內外三維道路資料建置概況，針對國內曾建置三維道路模型資料單位進行資料蒐集分析及訪談，並分析所建置三維道路資料格式及選用展示圖臺。
- (二) **3D 道路模型試辦**：以「臺灣通用電子地圖」為主，利用多元道路圖資結合數值地形模型，研擬三維彩帶式道路模型建置作業方法並試辦實作，同時於國土測繪中心提供之平臺展示試辦成果。
- (三) **3D 軌道模型規劃**：規劃並研擬運用現有圖資建置三維鐵路及捷運模型之策略及方法。

本公司以完善整合之團隊組織與審慎規劃之作業方式與國土測繪中心密切合作達成任務。

1.3 工作項目

一、提報作業計畫書：

依據契約規定，本案之作業計畫書應至機關辦理需求訪談，並於決標次日起 30 日曆天內，依本案工作項目內容、規格標評選與會人員意見及需求訪談紀錄等撰寫作業計畫書，並送交國土測繪中心審查，俟通過後實行相關作業。本案已於 108 年 2 月 27 日決標，並於 108 年 3 月 20 日至國土測繪中心辦理需求訪談(詳附錄一，需求訪談會議紀錄)。同時本公司已於 108 年 3 月 28 日發文提送作業計畫書，經國土測繪中心於 108 年 4 月 17 日函文通知驗收合格。

二、專案項目：

1.國內外三維道路資料建置概況及分析：

- (a) 國外部分：蒐集整理國外三維道路資料（包含平面道路、立體道路、隧道、橋梁、地下道、交流道）建置概況，就資料內容、格式與架構進行分析比較，並提出可供本案三維道路資料建置策略之參考建議，歐洲、美洲及亞洲各至少 1 個國家。
- (b) 國內部分：針對國內曾建置三維道路模型資料單位進行資料蒐集分析及訪談，除了解三維道路資料建置流程及後續資料更新計畫，並分析所建置三維道路資料格式及選用顯示圖臺等。

2.三維彩帶式道路模型作業方法及流程建置：

- (a) 研擬以臺灣通用電子地圖成果結合 DEM 產製三維彩帶式道路模型（包含平面道路、立體道路、隧道、橋梁、地下道、交流道）之作業流程。
- (b) 研擬三維彩帶式道路模型成果品質檢核方法。
- (c) 分析評估測繪車輔助三維彩帶式道路模型建置適用類型及時間、成本。
- (d) 研擬全臺三維道路建置之策略、時間及成本分析。

3.三維彩帶式道路模型試辦實作：

- (a) 針對平面道路、立體道路、隧道、橋梁、地下道、交流道等不同道路類型進行試辦實作，驗證所提出運用現有圖資規劃建置三維道路模型作業方法及產製三維彩帶式道路模型流程，試辦區域應經國土測繪中心同意。
- (b) 提供展示環境，辦理試辦實作成果展示，並配合國土測繪中心需求協助處理三維彩帶式道路模型資料。

4. 三維鐵路及捷運模型建置方法規劃：

規劃建置三維鐵路及捷運模型方法，並評估是否可運用現有圖資辦理，相關內容於工作總報告中以專章說明。

三、期中報告：

內容至少需包含計畫概述、工作項目、時程及目前辦理情形、後續作業規劃。其中工作項目部分，應以專章說明「國內外三維道路資料建置概況及分析」；「運用現有圖資規劃建置三維彩帶式道路模型作業方法及流程」則應提出初步的作業流程規劃、無法直接透過前開流程作業的建議處理方案及三維彩帶式道路模型成果品質檢核方法；「針對不同道路類型，試辦三維彩帶式道路模型試辦實作」應提出至少 2 種道路類型的初步試辦結果。

四、工作總報告：

內容至少須包含計畫概述、工作項目、時程及辦理情形、運用現有圖資規劃建置三維道路模型作業方法及流程、三維彩帶式道路模型試辦實作分析、三維鐵路及捷運模型建置方法、

結論及建議。

1.4 契約時程與交付成果

本案分三階段作業如下，決標次日起 270 個日曆天完成。

一、第一階段作業：

須於決標次日起 30 個日曆天內，交付作業計畫書（書面 8 份、電子檔 1 份）。

二、第二階段作業：

決標次日起 180 個日曆天內，交付期中報告（書面 16 份、電子檔 1 份）。

三、第三階段作業：

決標次日起 240 個日曆天內，交付三維道路模型試辦實作成果。決標次日起 270 個日曆天內，交付工作總報告（書面 16 份、電子檔 1 份）。

表 1-2 成果繳交項目、內容一覽表

階段	成果繳交項目	繳交格式	數量	繳交期限
第1階段	作業計畫(含需求訪談紀錄)	書面	8份	決標次日起 30個日曆天
		電子檔	1份	
	修正後作業計畫	書面	3份	依本機關指定 期限內繳交
		電子檔	1份	
第2階段	期中報告	書面	16份	決標次日起 180個日曆天
		電子檔	1份	
	修正後期中報告	書面	3份	依機關指定 期限內繳交
		電子檔	1份	
第3階段	三維道路模型試辦實作成果展示	-	1式	決標次日起 240個日曆天
	工作總報告	書面	16份	決標次日起 270個日曆天
		電子檔	1份	
	修正後工作總報告	書面	5份	依機關指定 期限內繳交
		電子檔	1份	

1.5 作業流程及時程規劃

為求圓滿完成本案「**文獻資料蒐集**」、「**3D 道路模型試辦**」、「**3D 軌道模型規劃**」3 大任務，本公司以歷年辦理各項專案所累積之經驗，釐清各項成果資料之關連性，擬定本案各工作項目及成果產製程序，將資源作最有效之分配利用。整體作業流程，如圖 1-3。於期末階段已順利完成各工作項目，作業計畫書、期中報告以及成果展示會皆順利通過審查，三維道路模型試辦實作成果已完成全部六種類型，包含平面道路、立體道路、交流道、橋梁、地下道及隧道。實作成果於不同圖臺(Google Earth、ArcGIS portal)上展示，也提交三維道路模型成果供國土測繪中心於自有的展示環境圖臺中測試。

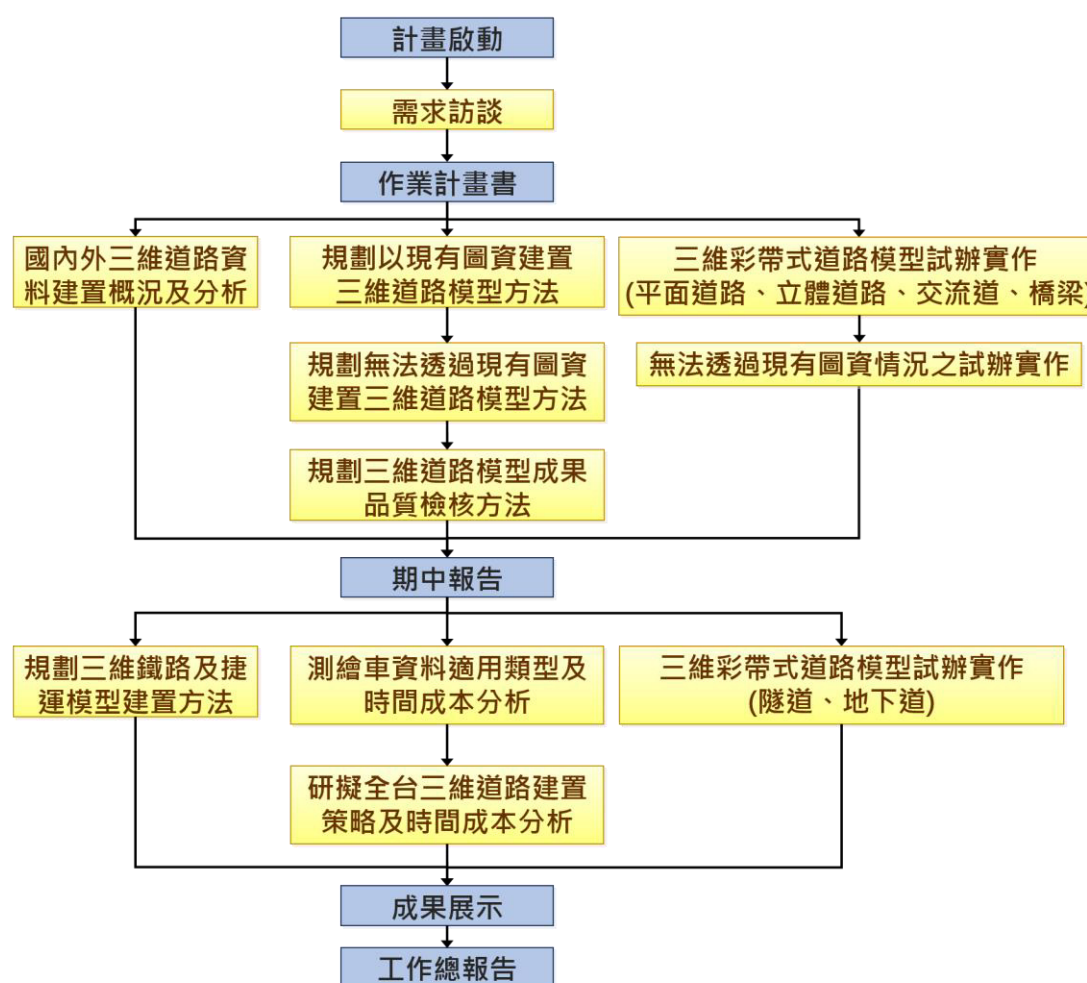


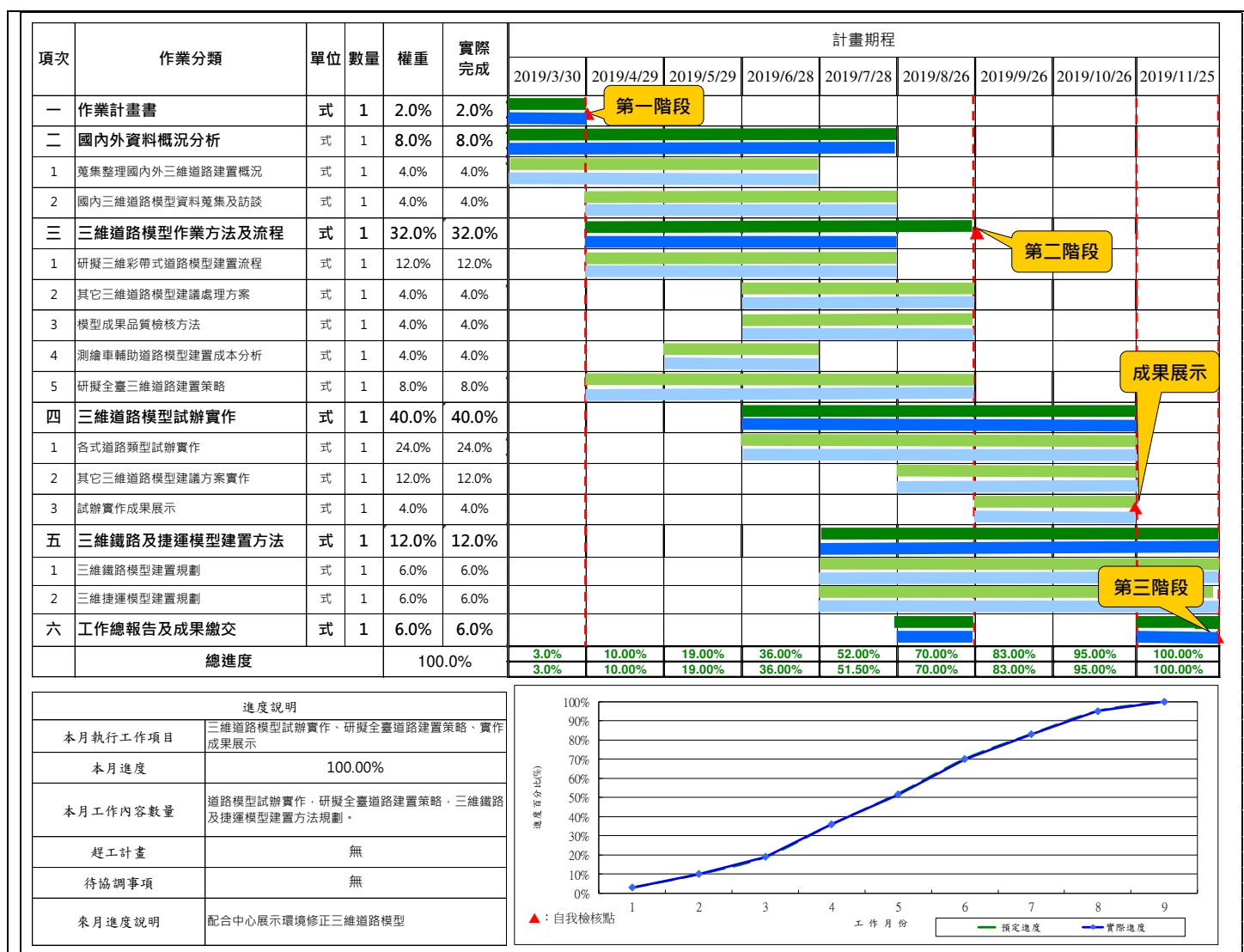
圖 1-3 整體作業流程圖

本案共分三階段辦理，自決標次日起 270 個日曆天內應完成第一至第三階段作業。詳細工作時程及進度規劃，依據辦理工項所費之人力，估算訂定其權重。各工作項目與進度規劃如圖 1-4。進度規劃係配合各階段成果繳交之時程進行安排，各作業工項之

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案

進度軸表示最遲開始及最遲需完成之時程點。

另本公司內部不定期召開工作會議研商計畫執行狀況，並配合於定期工作會議中提出報告，說明實際工作進度、工作協調事項、工作遭遇困難等項目。此外，依據需求規格書第八項規定，本研於契約及保固期期間，應撰擬 1 篇以上與本案執行內容相關之期刊或研討會論文，並投稿至期刊或研討會，因此本公司將本案執行相關成果投稿至地籍測量學會會刊，投稿摘要請參閱附錄六。



紅色三角形為階段檢核點

圖 1-4 工作項目與時程規劃甘特圖

1.6 作業人員性別平等資訊統計

本公司一向恪遵政府法令，作業過程落實性別平等，作業執行過程中實際參與作業人員共計 14 位，男女性別人數列表如表 1-2

表 1-3 本案作業人員性別比例統計表

項次	作業項目	男：女
1	計畫管理與督導	2 人：1 人
2	電子地圖資料處理	2 人：4 人
3	三維道路模型建置	3 人：2 人

第二章 國內外三維道路資料建置概況及分析

2.1 國外文獻蒐集與分析

本項工作主要目標為蒐集國際間三維道路模型發展現況、建置三維道路模型之方法技術以及其模型成果使用的資料格式，統整蒐集之成果並分析不同國家所採用之方法及其優缺點，最後分析適合納入本案參考的技術方法及建置流程。

一、三維道路模型資料格式

統整蒐集之成果可以發現，國際組織已經有針對三維模型產品制訂標準格式，目前 OGC 針對三維模型產品訂定的標準格式主要為 OGC CityGML、OGC i3s 及 OGC 3D Tiles，3D Vector Model 可採用 CityGML，而 3D Raster Model 則使用 i3s，兩者分別以向量資料及網格資料呈現三維模型產品。從各國發展三維模型產品來看，是從三維城市的角度出發，依循 CityGML 的脈絡發展。而三維道路模型屬於向量式資料，CityGML 定義三維向量式模型，以 GML 為基礎具有豐富且詳盡的標籤資訊，適用於資料交換。同時也發展開放三維城市資料庫(Open 3D City Database, <http://www.3dcitydb.org>)，以資料庫管理龐大的三維城市模型及對應的屬性資料，提升三維城市運作的處理效能。

CityGML 的模型細緻等級分級(Level of Detail, LOD)共分為四級，如圖 2-1，其中 LOD0、LOD1 因模型細緻度較低，所以自動化產製程度較高的級別，而 LOD2、LOD3 內容細緻且豐富，則需要較多人工介入。除此之外，隧道(Tunnel)及橋梁(Bridge)兩類模型在 CityGML 的定義中，有別於交通類別(Transportation)，各自為獨立的模型分類。從 CityGML 的模型細緻等級來看，本案產製的三維道路模型規格有超過 LOD1 的標準，介於 LOD1 及 LOD2 之間，另外也納入隧道、地下道兩項特殊交通類型。考量本案主要的圖資來源為臺灣通用電子地圖，其目前的製圖方式，雖然產置的三維道路模型未與國際組織產品完全一致，然而，在資料結構上仍依循 CityGML 相關規範及其發展脈絡，以求後續之加值應用更為便利及廣泛。在資料格式上，則考量國土測繪中心使用的圖臺要求，將三維道路模型轉換為 DAE 格式，在使用 KML 檔案包裝這些 DAE 檔案。

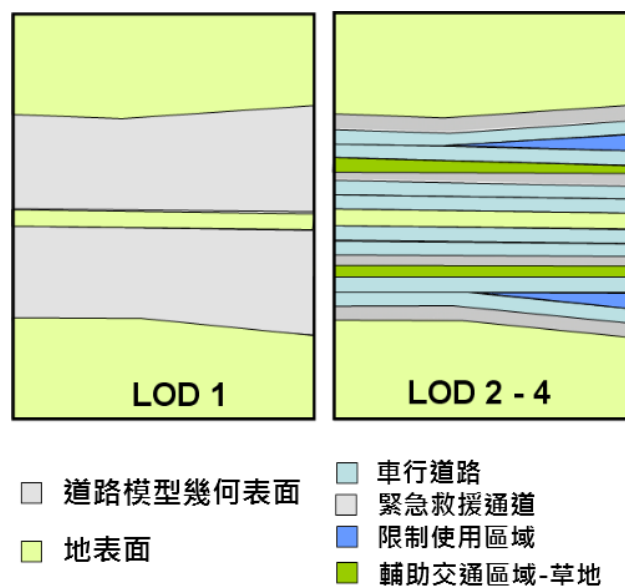


圖 2-1 CityGML 三維道路模型細緻度分級(OGC, 2012)

二、主要國家之三維道路模型發展

三維道路模型是智慧城市中重要且不可或缺的一環，但各國在發展三維城市時大多從三維建物模型切入，優先發展三維建物模型的建置方式及其相關應用；但是隨著自駕車、HDmap、智慧交通、綠色運輸等多元應用興起，三維道路模型之重要性逐漸崛起。

為建置具有臺灣國家特色之三維道路模型並且發展適用於目前環境之應用方式，蒐集國際間主要國家三維道路模型之發展和應用情境為前期的必要工作。整體而言，三維道路模型仍處於發展階段，相較三維建物模型，仍有許多發展的空間。本案蒐集整理國際間主要國家三維道路模型建置概況，並且就資料內容、格式、架構及應用情境進行分析比較。表 2-1 整理瑞士、荷蘭、香港、新加坡及美國等三維圖資目前發展狀況。

表 2-1 瑞士、荷蘭、香港、新加坡及美國紐約三維製圖產品列表

名稱	三維產品	特色
瑞士	各類三維產品包含 SwissTLM ^{3D} , SwissALTI ^{3D} , SwissROUTES ^{3D} , SwissNAMES ^{3D} , SwissBOUNDARIES ^{3D} ,	從現行國家製圖標準延伸。 以航測方式重建 LOD2 模型。

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案

名稱	三維產品	特色
	SwissBUILDINGS3 ^{3D} 。	
荷蘭	以 CityGML 為基礎，定訂 IMGeo (Information Model Geography) 作為國家大比例尺二維及三維地形(3D topography)。IMGeo 包含地形、房屋、橋梁、水系、道路等。	LOD 1 採用全自動化重建，輸入資料為二維向量圖配合光達。
香港	3D Spatial Data 包含 Building, Infrastructure, Terrain 3D 全港行人道路網數據集	「MyKE」APP-3D 行人道路網 「香港有聲地圖」供視障人士使用
新加坡	3D National Map 包含 DEM/DSM、Orthophoto、3D building models、3D road models、3D tree models。	採用空載光達及影像、車載光達及影像進行模型重建。
美國	NYC 3D Model by Community District、NYC Planimetric Database、Single Line Street Base Map Dataset	3D Model 採用航照影像製作，提供 CityGML、Multipatch (ESRI)、DGN (Microstation) 等不同格式下載。

(一)瑞士

瑞士的三維模型建置計畫稱為 swissTLM3D，TLM 為 Topographic Landscape Model 之縮寫。從 2008 年展開 swissTLM3D 的建置，各類三維產品包含 SwissTLM3D，SwissALTI3D，SwissROUTES3D，SwissNAMES3D，SwissBOUNDARIES3D，SwissBUILDINGS33D，TLM 資料庫共有超過 1600 萬個三維形式的物件。其資料格式為 ESRI 的 Shapefile，流通資料格式為 CityGML 及 KML。

瑞士 TLM 的產製及更新以航拍影像為主。使用攝影測量

的方式。並且為此方法建立了專屬的工作環境，使專家能夠直接於三維環境中進行測量。除了直接輸入資料外，也可以根據不同情況從外部獲取串接資料集或資訊。在對其進行幾何校正以滿足TLM的精度要求後，即可將資料整合到TLM中。TLM被視為綜合的3D資料庫，可以從中開發各種不同的產品，包括樹木及人工構造物，包括道路、鐵路、建物、河川、水文、地名、DTM地形、行政區等資料。作為瑞士的基本資料集，以及各種其他空間相關應用。包含它構成了各種空間模型、計算、分析、描述、可視化和模擬的基礎。

(二)荷蘭

荷蘭從2010年開始有全國3D標準(National 3D pilot, Rotterdam 3D 1.0)，2014年開始發展Rotterdam 3D 2.0，參與的政府單位涵蓋地籍測量單位、荷蘭大地及空間資訊委員會、居住、空間規劃與環境局以及國家空間資料基礎設施執行委員會等。荷蘭三維城市模型由不同來源之資料產製，其資料格式包含CityGML, Collada, CAD, 3ds Max, SketchUP, BIM, IFC等，而各單位將所有資料格式轉為CityGML，以供後續整合與流通。

荷蘭三維資料使用不同來源產生的三維資訊，例如航照影像、光達點雲和透過移動製圖所取得之資料、二維地下和地上資料、無人機和地面測量。LOD 1採用全自動化重建，輸入資料為二維向量圖並配合光達。荷蘭的實際應用案例包含荷蘭地質調查局為了安全地挖隧道、建造大型建築、鑽探石油和天然氣或儲存二氧化碳於地下，需要準確地知道地表下存在哪些能源。另外，荷蘭以經濟部、基礎設施與水資源管理部、荷蘭大地測量委員會主導推行國家的三維政策，不僅深入地下能源研究、進行地下管線模擬、運用動態擬真場景。

(三)香港

香港於2012年推出三維空間數據，包含三種地物：建築物、道路和地形並支持空間分析、虛擬實境和其他三維應用，三維幾何模型採用3ds、3D MAX及VRML格式。紋理影像圖及模型屬性檔案則分別採用JPEG格式及分隔符號文字檔格式。至於紋理拼貼檔案則只適用於採用3ds及3D MAX格式的建築物模型及基礎設施模型。

此外，香港於2019年推動發展「空間數據共享平臺」，而「空間數據共享平臺」是提供一個可以整合、互通和共享地

理空間資訊的平臺，支援不同應用程式的開發和創新應用。並且將分階段推出高質素全港三維數碼地圖，三維數碼地圖共包含三項產品：三維城市地圖、三維行人及行車道路網絡模型數據以及三維室內地圖。

(四)新加坡

新加坡於 2008 年 4 月啟動 NSDI 計劃，被稱為 SG-SPACE（新加坡地理空間協作環境）。SG-SPACE 是由新加坡土地管理局（SLA）以及資訊通信發展局（IDA）引領的跨機構計劃。2018 年，SG-SPACE 被重新定義為 GeospatialSG（地理空間新加坡）。其包含了多項成果，OneMap(多項設施、服務資訊查詢)、Virtual Singapore、One Historical Map (建物、紀念物等位置圖片、古地圖對照)。其中，Virtual Singapore，由 National Research Foundation (NRF)所啟動，與 Singapore Land Authority(SLA)、政府單位、大學、民間公司合作，投資 7 千 3 百萬美金建置，並採用各種測量方式，包括航照立體製圖、空載光達掃描、行動測量車掃描、地形掃描等等技術量測三維資訊，目前共已生產超過 50 terabytes 資料。新加坡三維資料格式，包括 CityGML、KML 及 OGC WFS。而不同來源生產之資料亦包括 IFC、BIM、SketchUP 等，並將所有格式轉換為 CityGML。其地物圖徵包含建物、道路、鐵路等。

虛擬新加坡(Virtual Singapore)是新加坡三維產品發展最具代表性的應用案例。虛擬新加坡是一個包含語意及屬性的實境整合的三維虛擬空間並擁有大量數據環境與視覺化技術的協作平臺。可以利用資料分析與模擬功能來測試概念與服務、制定規劃與進行決策，並達成社群協作。目前新加坡已全面使用於地籍資料、航線規劃、都市計畫、土石流監管、太陽能潛力分析、城市天際線分析等功能。

(五)美國

紐約市信息技術和電信部門(Department of Information Technology & Telecommunications, DoITT)提出「NYC 3-D Building Model」，此計畫基於紐約市現有的空間資料來加值產製三維城市模型，參照 CityGML2.0 規範，於 2014 年產製出紐約的虛擬 3D 城市模型。除此之外，慕尼黑工業大學也利用紐約市三維城市模型開放資料和現有的空間資料創建了紐約市帶有語意的三維城市模型。資料格式為 ESRI 的 Multipatch 和 Microstation 的 DGN，流通資料格式為

CityGML。

DoITT 參照 OGC 制定的 CityGML 標準，將其 3D 模型規範制定為結合 LOD 1 與 LOD 2 的混合模型，DoITT 將此混合建物模型定義為 LOD 1.5。紐約市 3D 城市模型為利用 BAE Systems 的 SocetSET GXP/ Hexagon SSK 軟體，輸入 DoITT 於 2014 年拍攝的航照圖、地籍資料庫中的建物平面面積資料和 DEM 建置而成，其實際應用案例包含了太陽能潛力分析。

整理各國三維產品發展現況中可以瞭解，各國的建置技術、發展方向以及實務應用都有值得參考的部分，但是綜合而言，新加坡以及美國兩個國家發展的案例更適合臺灣發展三維產品時做為參考對象，兩個國家適合參考的重點各有不同，新加坡適合參考其規劃的整體架構以及各項三維產品的實際應用，如展示地籍資料、航線規劃、都市計畫、土石流監管、太陽能潛力分析、城市天際線分析等功能；美國適合參考其建置技術，其三維道路模型同樣是利用現有圖資加值產製，與目前推動的三維國家底圖建構工程發展脈絡一致，另外其應用分析功能的發展及三維道路模型呈現效果都有許多值得本案參考的部分。

新加坡在「整體政府」(Whole of Government)的策略下推動國家三維圖資，主要有兩項因素，一項是目前的二維圖資無法完全表達真實世界；另一項是三維圖資的需求成長，基於此兩項因素考量，新加坡以國家角度從上至下全力推動國家三維圖資。新加坡的三維圖資考量互通性以及分享性後選擇使用 CityGML 的格式，並依循 CityGML 的 10 項主題分類，分別建置了其中 8 類的三維圖資。其使用的資料來源有空載的光達以及影像，另外也搭配地面的車載光達以及影像。圖 2-2 為新加坡三維建物模型成果示意圖，圖 2-3 到圖 2-5 為新加坡各等級三維道路模型成果示意圖。新加坡的三維道路模型建置依循國家三維圖資建置之架構，從單一類別模型的來看，其資料類型與資料架構皆依循 CityGML 格式及主題分類，因此可以與不同類別的三維模型建立良好之互動，此項特色可供本案作為參考，未來可以於臺灣三維地形圖的整體框架下整合三維建物模型、三維道路模型以及三維軌道模型等各類別模型。

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案

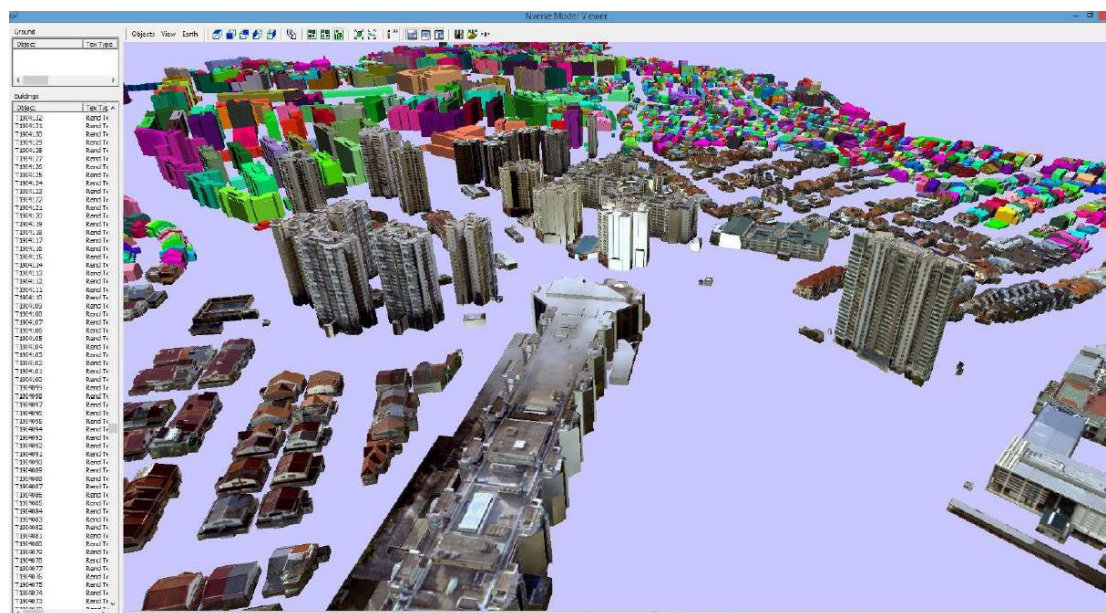


圖 2-2 新加坡三維建物模型成果示意圖



圖 2-3 新加坡 LOD1 三維道路模型成果示意圖

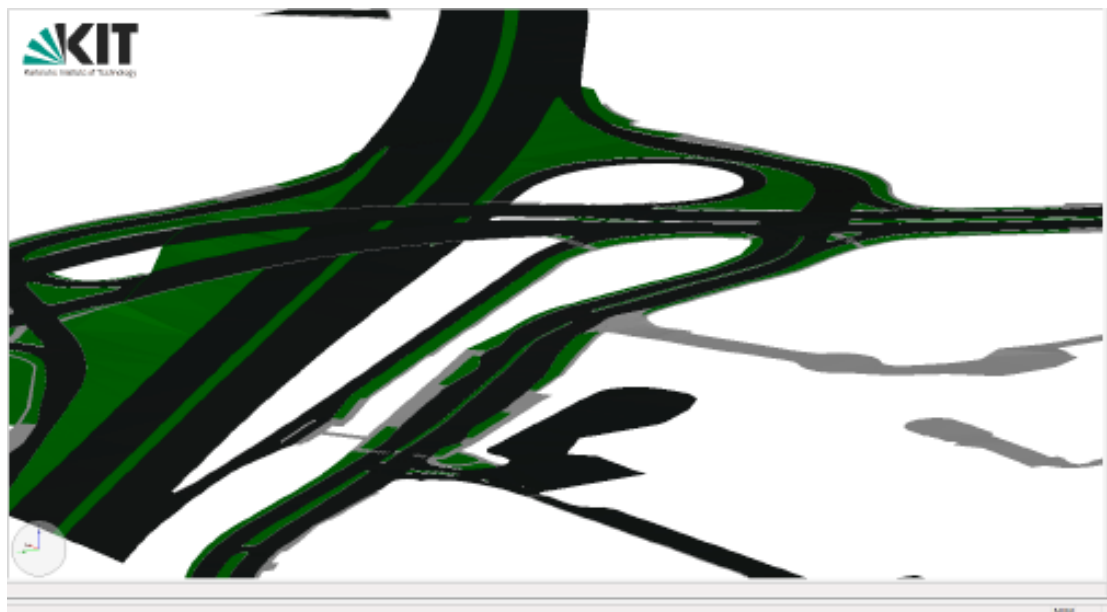


圖 2-4 新加坡 LOD2 三維道路模型成果示意圖

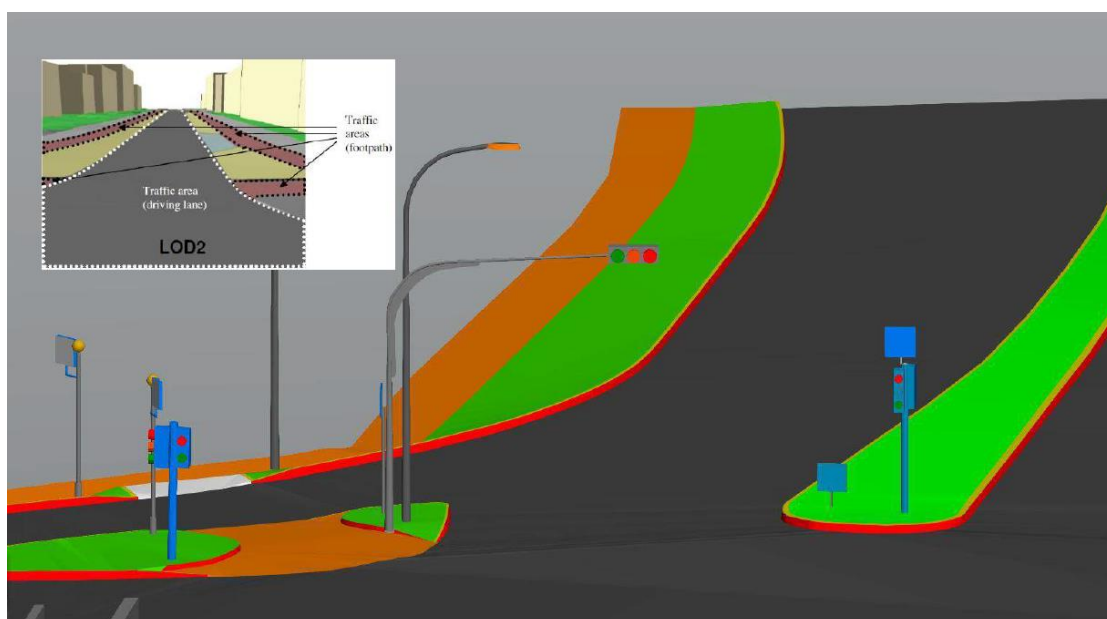


圖 2-5 新加坡 LOD3 三維道路模型成果示意圖

與新加坡重新測製資料產製三維城市模型的做法不同，美國的方式採用既有資料的加值來產製三維城市模型，雖然也是依循 CityGML 的發展脈絡以及資料格式，但是美國不像新加坡一樣針對 CityGML 的 10 項主題分類都有產製三維模型，其目前的發展重點只有包含三維建物以及三維道路的部分，其細緻度分級如圖 2-6。

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案

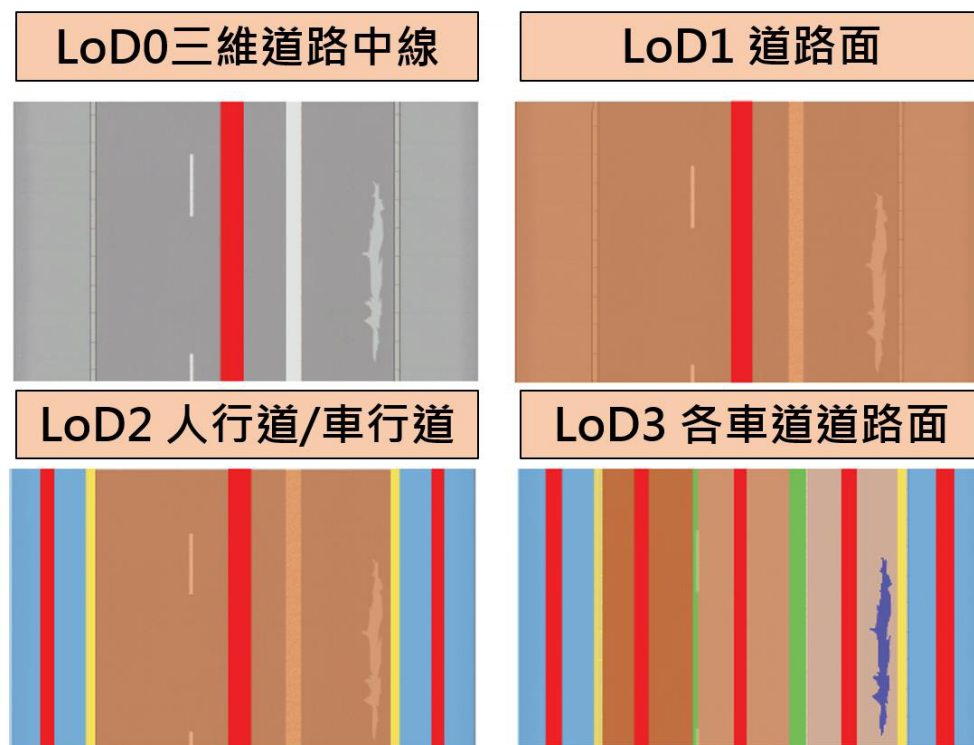


圖 2-6 美國紐約三維道路模型細緻度分級

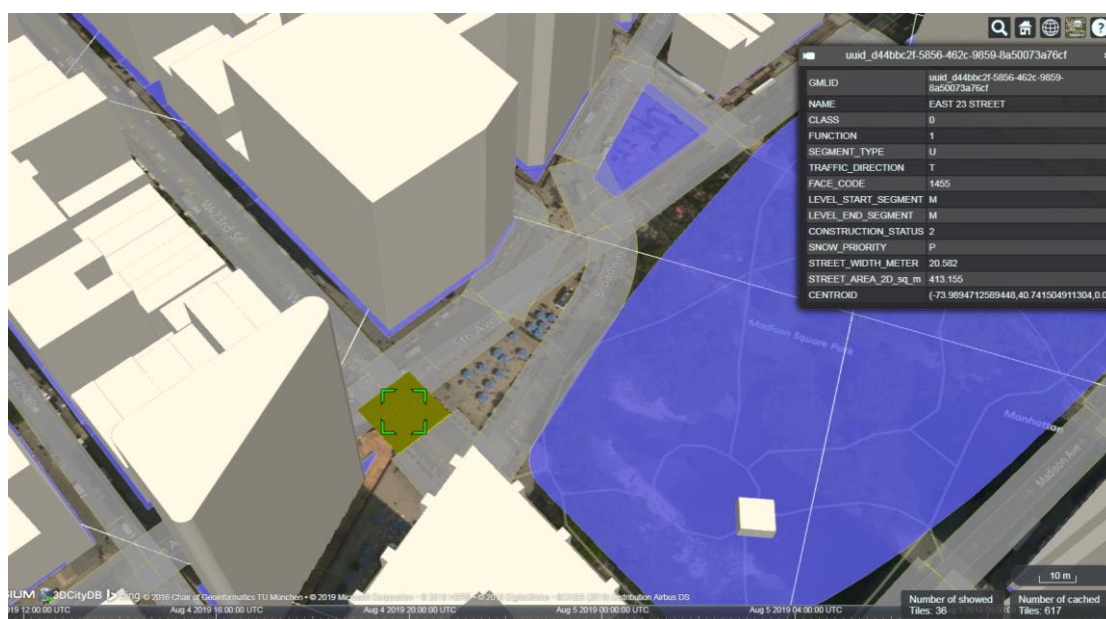


圖 2-7 美國 LOD1 三維道路模型成果示意圖

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案

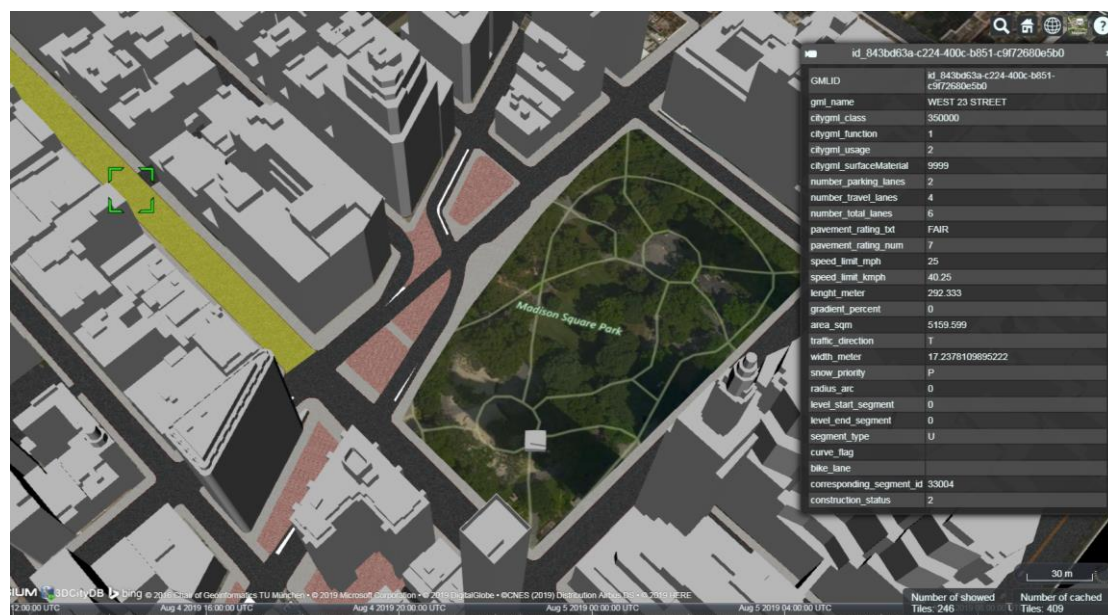


圖 2-8 美國 LOD2 三維道路模型成果示意圖

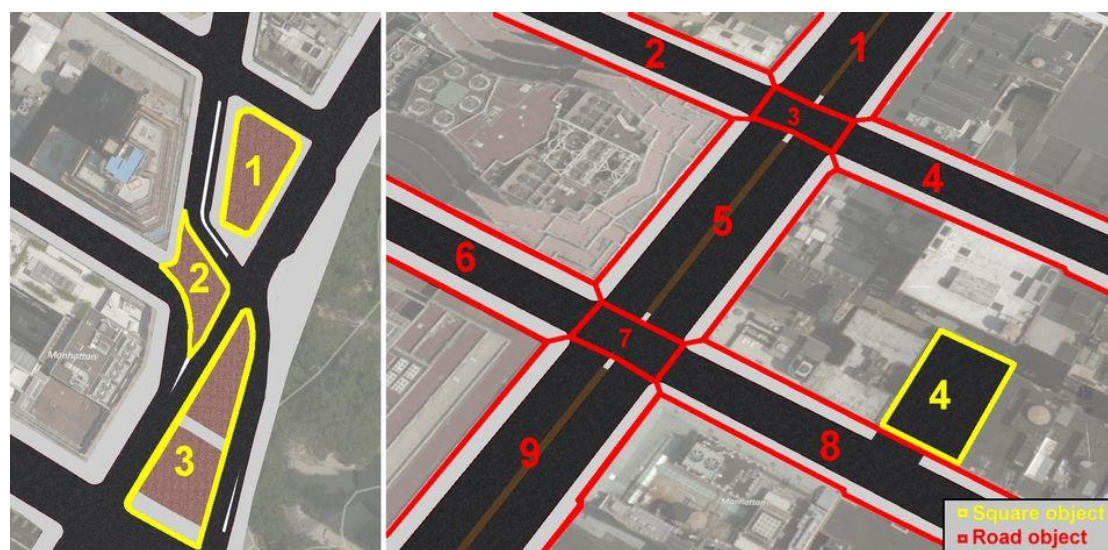


圖 2-9 美國 LOD2 道路面分割成果示意圖

圖 2-9 為美國道路面分割成果的示意圖，可以發現其針對路口進行分割，將分別屬於兩條路的路口處另外分割出來，並且繼承相交道路的相關屬性資料，此項路口分割的方式為其特色，美國的作業方式及展示的成果，其應用分析功能的發展性及三維道路模型呈現效果都有許多值得本案參考的部分。

統整各國三維圖資產品之應用發展，應用項目包含淹水模擬及分析、太陽能潛力分析、熱島效應模擬及分析、城市觀光

導覽、都市計畫與建築模擬及分析、房地產及地籍資料管理、路線分析及導航。圖 2-10 為新加坡使用三維圖資於淹水模擬的示意圖，可以藉由三維圖資判斷淹水的影響範圍以及淹水可能的擴散方向。圖 2-11 為紐約利用三維圖資進行太陽能潛力分析的示意圖，可以看到除了三維建物以外，三維道路也可以進行太陽能潛力分析，除了找出高潛力的屋頂外也能找出具有高度太陽能潛力的道路，進行後續應用，圖中評估潛力的數值為千瓦小時/年，數值越高的部分為紅色，中等的部分為綠色，最低的部分為藍色，可以藉由分析各道路的太陽能潛力數值來判斷哪些道路具有太陽能潛力。

分析各國針對三維道路模型的應用方式，除了主要的展示功能以外，一部分是利用道路模型的幾何資料進行分析，如淹水分析與太陽能潛力分析等，另一部分是將道路模型結合不同的屬性資料進行資料分析及管理，如房地產及地籍資料管理，都市計畫與建築模擬分析等。不過整體而言，各項應用方式大多以整體三維圖資產品的角度出發，較少是單獨使用三維道路模型進行應用，因此建議三維道路模型的應用發展方向仍應回歸到整體三維圖資產品的角度思考，針對整體的應用發展進行全面性的規劃。除此之外，也應回歸到各使用者或是使用單位的業務需求，從業務過程中的需求切入後發展，會使三維道路模型的應用發展更有成效也更貼近使用者。



圖 2-10 道路模型應用淹水模擬示意圖

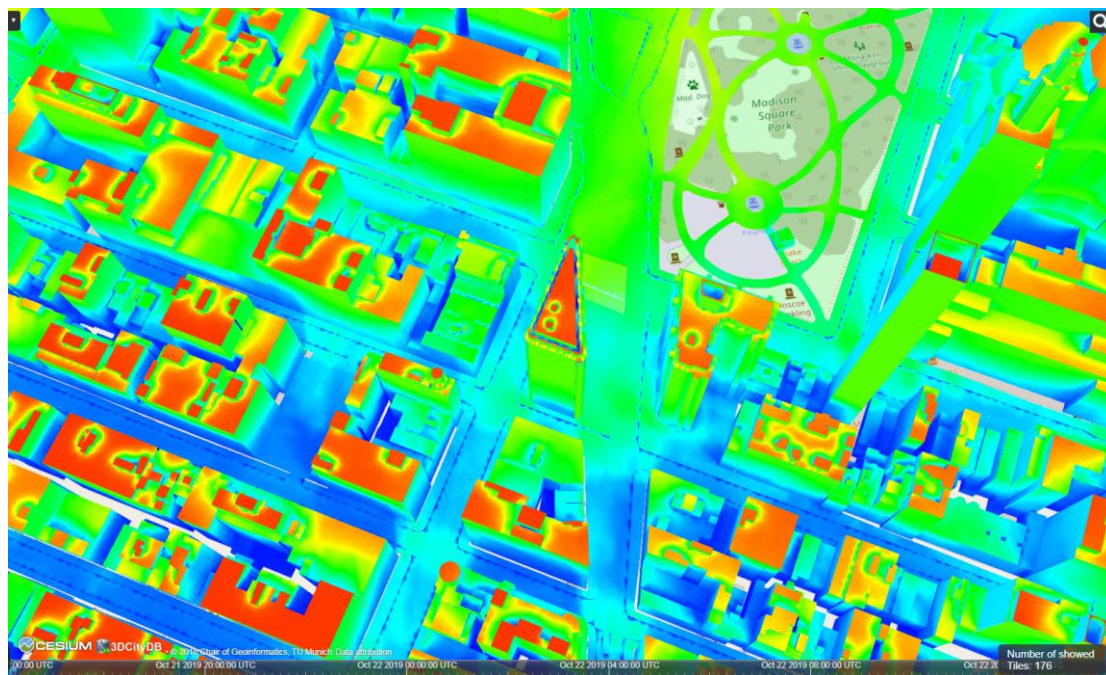


圖 2-11 道路模型應用太陽能潛力分析示意圖

2.2 國內三維道路需求及建置經驗訪談

一、訪談名單規劃

為掌握國內三維道路模型資料以及發展現況，本案針對產、官、學界進行訪談，蒐集各單位既有之三維道路模型資料，同時瞭解其模型建置方法、資料來源、資料格式以及未來應用方向，訪談名單包含下列類型單位：

- (1) 研究單位
- (2) 產業界道路模型產製單位
- (3) 政府部門道路模型產製單位
- (4) 道路權責單位
- (5) 軌道權責單位

藉由訪談研究單位掌握最新模型建置技術，訪談模型產製單位掌握現有模型資料以及執行現況，訪談道路及軌道權責單位掌握其道路及軌道既有圖資，並瞭解權責單位可能的需求或是模型應用方向。另外近年來因為自駕車的發展日益成熟，產製 HDmap 的需求也持續增加，HDmap 與本案的三維道路模型雖然都是屬於道路相關的應用發展，但是其出發角度與應用情境仍有所不同，不過兩者之間仍有相當的關聯性及可互相參考

的部分，因此特別將兩者之間的比較納入訪談議題之中。

訪談國內曾建置三維道路模型之單位，可瞭解並歸納其建置三維道路模型之流程及後續更新機制，同時分析其建置三維道路模型之格式、選用顯示圖臺以及圖臺相關功能等。訪談道路權責單位，可瞭解各權責單位掌握的圖資以及未來應用三維道路模型之需求，並瞭解及歸納其應用三維道路模型之使用場景及後續應用計畫，同時分析其應用方式及選用顯示圖臺以及圖臺相關功能等。訪談名單及針對各訪談單位之議題如表 2-2 及 2-3。

訪談名單及針對各訪談單位之議題，已提交國土測繪中心審查，並順利完成各單位的訪談作業。各單位拜訪情況如表 2-4。

表 2-2 訪談單位彙整表

類型	單位名稱	訪談單位背景
研究單位	國立中央大學	3 維建物 / 3 維地形圖
	國立交通大學	3 維道路 / 3 維地形圖
	國立成功大學	HD map / 3 維建物標準
產製單位(業界)	勤威勤崙國際科技股份有限公司	導航地圖
	GARMIN 臺灣國際航電股份有限公司	導航地圖
產製單位(公部門)	新北市政府	由道路養護出發，建置三維道路模型
道路權責單位	交通部運輸研究所	交通部智庫，政策擬訂、統合協調運輸決策與執行計畫，運輸計畫及路網圖資
	交通部公路總局	公路權責單位
	交通部高速公路局	高速公路權責單位
軌道權責單位	臺灣鐵路	臺鐵路線養護圖資
	臺灣高速鐵路	高鐵路線養護圖資
	臺北捷運	捷運路線養護圖資

表 2-3 各訪談單位問題彙整表

名稱	訪談問題內容
研究單位	共同提問 (1) 針對曾接觸過之國內外三維道路模型 1. 其分類方式、分類等級及差異為何？ 2. 其建置方法為何？ 3. 其資料來源及標準？ 4. 其與 CITYGML 關聯方式？ 5. 未來的趨勢為何？ (2) 過往三維道路模型研究經驗分享 (3) 對三維道路模型建置及精緻化之建議？ 中央大學 (1) 三維道路與三維建物如何結合之建議？ (2) 三維地形圖中三維道路模型之建置經驗，可提供本案參考？ 交通大學 (1) 三維地形圖中三維道路模型之建置經驗，可提供本案參考？ (2) 各種等級三維道路模型建置方式之差異？ (3) 各種道路資訊(號誌、標線等)轉為三維模型之建議方式？ 成功大學 (1) 目前三維建物模型標準擬定之經驗分享 (2) 未來三維道路模型標準建議之擬定方式？ (3) HD map 與三維道路模型之關聯性？
產製單位	共同提問 (1) 現有三維道路模型數量？ (2) 現有之三維道路模型 1. 建置策略、方法及順序？ 2. 資料來源及格式？ 3. 展示方式或顯示圖臺為何？ 4. 主要應用方向或使用目標？ 5. 更新機制？ 6. 目前主要應用面向與遭遇的困難？

名稱	訪談問題內容
	7. 未來發展方向？ 勤威/Garmin (1) 三維道路模型可提供之優勢或效益？ (2) 三維道路模型精緻化之建議？ (3) 三維道路模型資料建置，公私協力合作的可能性 新北市政府 (1) 由道路養護角度出發，如何建置適合的三維道路模型？ (2) 是否有參考及統整不同單位之圖資或資訊？ (3) 所建之三維道路模型成果是否可提供測繪中心參考使用，若可、相關申請細節？
道路權責單位	共同提問 (1) 現有道路圖資類型、圖資數量？ (2) 道路圖資更新機制？ (3) 現有道路管理架構？分類方式？ (4) 貴單位針對未來應用方向或使用目標，所期望之三維道路模型為何？ (5) 是否有相關資料可提供測繪中心建置 3 維道路模型參考使用，若可、相關申請細節？ 運研所 (1) 三維道路模型建置及精緻化之建議？ 公路總局/高公局 (1) 是否接觸過任何國內單位建置之三維道路模型？
軌道權責單位	(1) 現有軌道圖資類型、數量？ (2) 軌道圖資更新機制？ (3) 現有軌道管理方式及分類方式？ (4) 貴單位針對未來應用方向或使用目標，所期望之三維軌道模型為何？

表 2-4 訪談情況彙整表

單位類型	訪談單位	訪談時間	訪談單位背景	備註
研究單位	交通大學張智安教授	5月16日	3維道路 / 3維地形圖	已完成
軌道權責單位	台北市政府捷運工程局	5月17日	捷運路線圖資	已完成
產製單位(公部門)	新北市政府養護工程處	5月17日	由道路養護角度出發，用BIM的方式發展RIM	已完成
軌道權責單位	台灣鐵路管理局	5月21日	臺鐵路線圖資	已完成
道路權責單位	交通部資訊中心	5月22日	交通部路網圖資	已完成
產製單位(業界)	勤崙國際公司	5月22日	導航地圖	已完成
產製單位(業界)	Garmin	5月31日	導航地圖	已完成
道路權責單位	高公局	7月4日	國道路線圖資/國道道路設施調查	已完成
道路權責單位	公路總局	-	省道路線圖資	已完成(電話受訪)
軌道權責單位	台灣高鐵公司	6月3日	高鐵路線圖資	已完成
研究單位	中央大學蔡富安教授	6月27日	3維建物 / 3維地形圖	已完成
研究單位	成功大學洪榮宏教授	8月2日	HD map / 3維建物標準	已完成

二、各單位訪談結果

道路模型產製單位的訪談結果如下：

(一) 新北市政府養護工程處

新北市政府利用新工程要求廠商建立 BIM 的資料，同時也建立三維 GIS 及 BIM 資料的建置工作規範。養護工程處的三維道路模型平臺以 cesium 為基礎，評估整體建置三維 mesh 模型的成本太高，因此目前採用執行新工程時一併建立三維模型的策略。

(二) 勤崙國際公司

勤崙產製的三維道路模型，展示用的三維道路模型與路線規劃用的資料不同。不同的使用功能或是分析需求對應到不同的資料，如圖 2-12。三維道路模型材質使用人工建模以及程式自動化產製兩種方式建立。另外資料更新是以測繪車搭配調查人員的方式進行，且資料更新時同步更新二維及三維圖資。

(三) 臺灣國際航電公司(Garmin)

Garmin 產製的模型分為展示用的三維道路模型以及路線規劃用的三維道路中心線，如圖 2-13，場景內呈現的是展示用的三維道路模型，而路徑規劃的成果則使用道路中線以不同樣式呈現。道路模型材質使用路

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案

調車蒐集現地調查資料，以物件的方式產製。道路圖資更新頻率高，除了每二至三個月定期更新之外，也有配合使用者回報的機制。

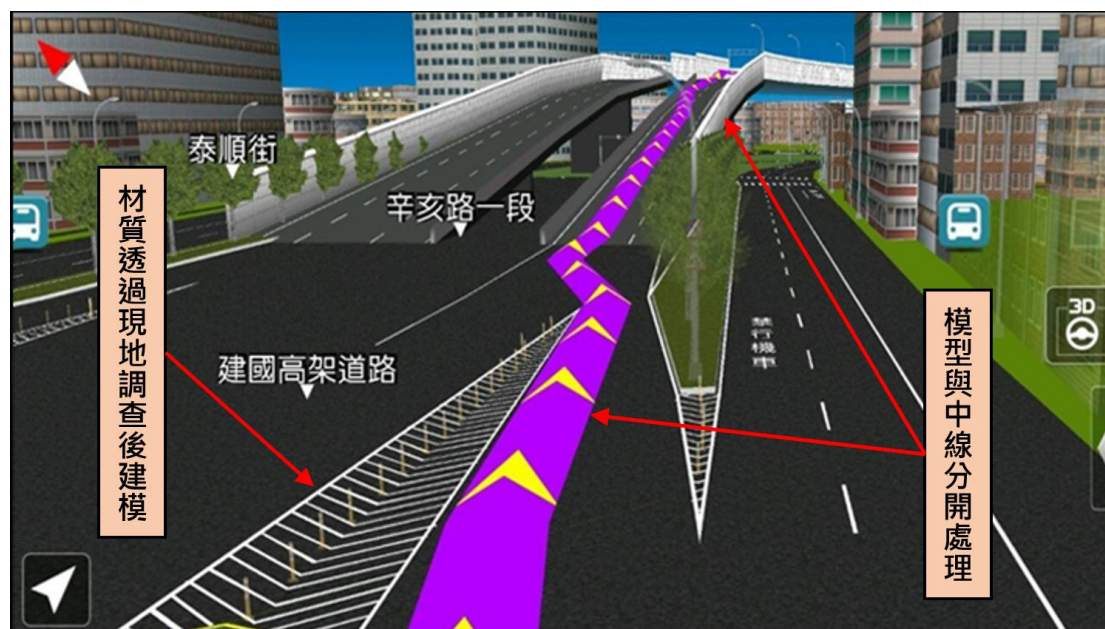


圖 2-12 勤崙三維道路模型示意圖



貼心的匝道出口路牌明暗顯示

橫向道路動線路口實景圖

超複雜路口實景圖

圖 2-13 Garmin 三維道路模型示意圖



圖 2-14 模型產製單位需求訪談合影

各研究單位的訪談重點如下：

(一)交通大學張智安教授

張教授提到三維道路模型從需求來看可以分為製圖、BIM 以及視覺化(Mesh)三種類型。三維道路模型應用場景與 HD Map 不同，CityGML 的三維道路模型細緻度分級是依據道路資訊的豐富度進行區分。展示用的三維道路模型與屬性查詢功能可以分開處理。

(二)中央大學蔡富安教授

蔡教授同樣提到三維道路模型應用場景與 HD Map 不同，從內政部發展三維地形圖的脈絡來看，三維道路模型屬於其中的一環。而針對三維道路模型的紋理材質，蔡教授特別提出使用模擬標線紋理的疑慮，模擬標線可能造成民眾誤導，需要考量是否可以承擔誤導民眾所造成的風險。

(三)成功大學洪榮宏教授

洪教授提到 CityGML 的每個 LOD 等級皆有對應的要求項目，如最小測製單元、精度要求，三維道路模型可以依據需求目標，針對不同項目設定明確的規格。另外洪老師也同樣提到 HD map 以汽車導航為需求目標，在精度要求與展現形式上與三維道路模型有很大的落差。而三維道路模型的展示效果仍需要優先考量，最後老師建議可以參考 ISO/TC204，是屬於智慧交通運輸系統的相關標準。

本案參考重點彙整如下：

- (一)HD Map 與三維道路模型使用情境與使用需求不同，兩者精度要求與格式不同，若需要轉換需進行額外處理。
- (二)道路模型材質建議使用現地調查資料，若使用模擬標線位置做為道路紋理材質，需考量誤導民眾的風險。
- (三)CityGML 每個等級都有不同的精度要求，需注意是否符合目前規劃。



圖 2-15 研究單位需求訪談合影

道路權責單位的訪談如下：

(一)高速公路局

高速公路局的道路設施調查以設施為主，不包含道路標線圖資，但是道路設施項目可以用於未來建置更高細緻度的道路模型時參考，如隔音牆、路燈、標誌等。另外高公局有建置小區域(斗南交流道)的三維 Mesh 模型做為測試使用。

(二)公路總局

公路總局目前的圖資資料皆以二維為主並且歷年來皆有提供公路路線相關圖資給國土測繪中心。各縣市對於道路設施調查的項目皆不同，有少數縣市的調查項目包含標線的實測資料。

(三)交通部資訊中心

交通部資訊中心曾經對轄下的各機關調查三維模型的使用需求，但調查成果顯示道路權責單位對於三維模型的使用情境以及應用場景仍不明確，目前對於三維模型的使用多以展示為主，各單位對於一般業務需求仍以二維圖資為主，若是需要推動三維模型的發展與應用，需要更進一步探索各單位的業務需求是否可以與三維模型進一步的結合。

彙整道路權責單位的訪談重點可以歸納為下列三點：

- (一)道路設施調查以設施為主，不包含道路標線圖資，如圖 2-16，另有少數縣市及單位有標線實測資料。
- (二)道路權責單位目前對於道路圖資的管理使用需求仍以二維圖資為主。
- (三)道路權責單位對於三維道路模型的使用情境以及使用場景仍不明確，三維道路模型現階段仍以展示為主要使用情境，其餘使用需求可能需要更深入觀察權責單位的業務需求及作業環境。

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案



圖 2-16 國道高速公路局道路設施調查成果示意圖

軌道權責單位的訪談如下：

(一) 臺灣鐵路

臺灣鐵路具有路線養護圖資，使用航測以及地測的方式收集資訊，局本部負責大範圍重測以及重大工程後圖資的更新，各工務段則負責小工程完成後圖資的更新。地下段及隧道無法透過 DEM 取得高程資訊，平面及縱斷面圖具有高程資訊可供參考，但是需另外由 CAD 圖檔萃取高程資訊進行轉換。

(二) 臺北捷運

臺北捷運一般常用的圖資為規劃路線的單線圖資，目前無實際的路線養護圖資，竣工圖等技術文件包含平面及高程資訊，但是一樣需另外由 CAD 圖檔萃取高程資訊進行轉換。而且捷運初期路網的技術文件多為紙本，沒有數位檔案。

(三) 臺灣高速鐵路

臺灣高鐵對於圖資權限管理較為嚴謹，認為軌道細部資料不適合提供或是公開，臺灣高鐵目前現有的路線圖資為二股軌道的中心線，沒有各股軌道的實測圖資。

本案參考重點彙整如下：

- (一)軌道單位一般業務使用仍以二維線形圖資為主，因此沒有軌道範圍圖資。
- (二)於隧道及地下路段，軌道權責單位有平面及縱斷面圖可取得高程資訊，但是平面及縱斷面圖多為單張不連續的圖資，甚至有部分為紙本圖資，其數量龐大且種類繁雜，若要順利取出高程資訊需要投入大量心力，透過數化、格式轉檔、資料彙整等步驟進行處理。如圖 2-17 及 2-18。
- (三)軌道權責單位對於圖資的控管相當嚴謹，平面及縱斷面圖屬於工程圖資，與一般空間資訊圖資仍有不同。
- (四)軌道權責單位對於三維軌道模型的使用情境及需求也不明確，現階段仍以展示為主要使用情境，未來可能透過深入觀察權責單位的業務需求及作業環境探索可能的發展方向。

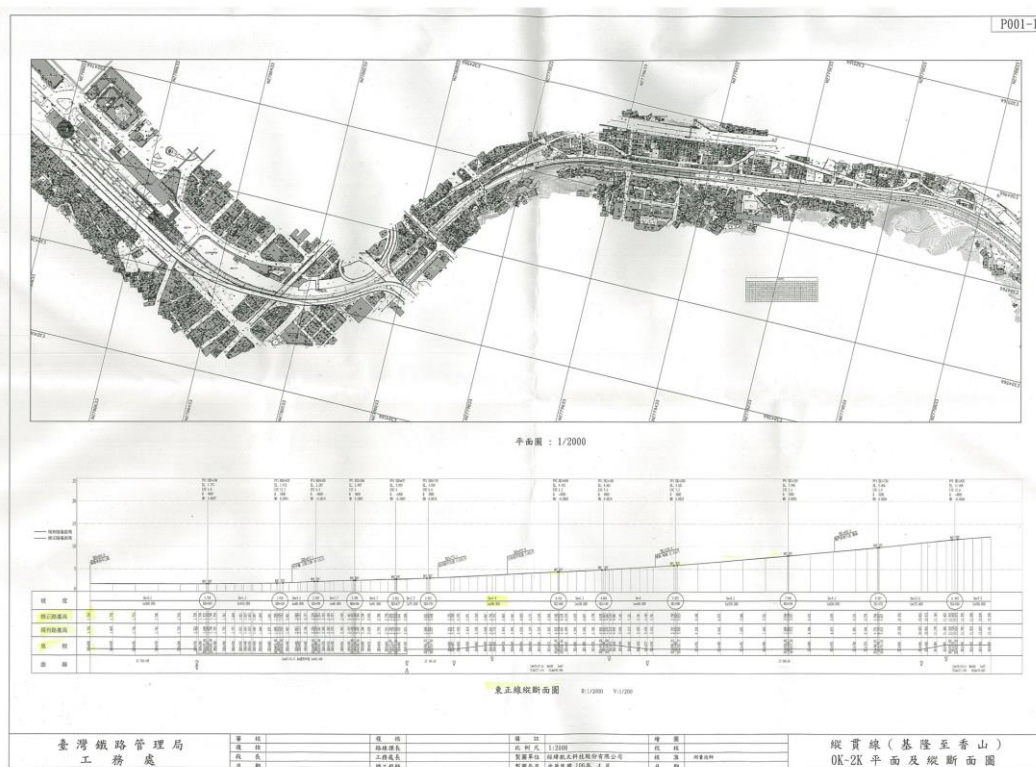
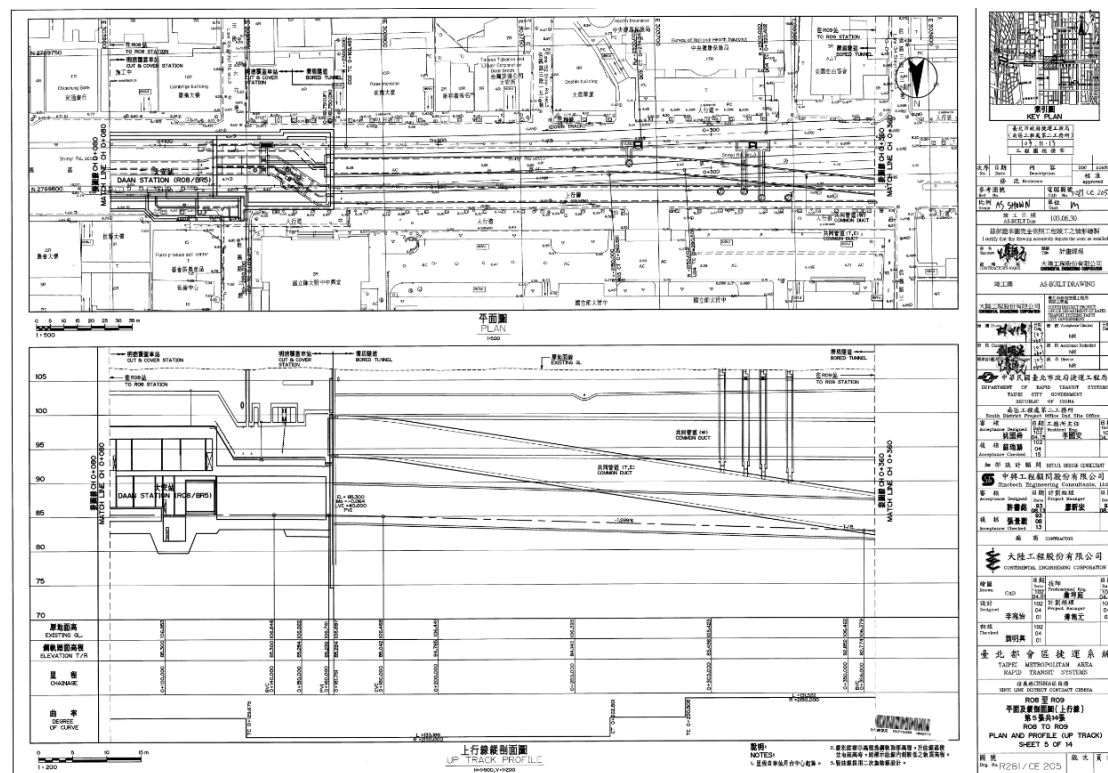


圖 2-17 臺灣鐵路路線平面及縱斷面圖

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案



第三章 運用現有圖資建置三維道路模型方法

國土測繪中心於 96 年度起規劃辦理臺灣通用電子地圖建置作業，建立一套具全國性、共通性、一致性之電子地圖，臺灣通用電子地圖建置圖層包括道路、鐵路、建物與彩色正射影像等類別。內政部於 100 年度起規劃多尺度三維數位城市技術研究，其中包含了三維道路模型建置的部分，統整內政部歷年的三維道路模型建置研究成果，其依據道路細緻度將三維模型分為四個等級：LOD0~LOD3，LOD0 為三維中心線道路模型，LOD1 為三維彩帶式道路模型，LOD2 為交通區域分離的三維彩帶式道路模型，LOD3 為高精緻度含有道路傢具之三維道路模型。歷來研究成果使用的觀測資料主要來源包含影像、點雲、數值地形圖等，以載具分類則可分為空載及地面資料收集兩種類型。之外，歷來的研究中仍有部分項目需要較多的人力介入處理，例如 LOD2 將交通區域分離的作業以及 LOD3 數化道路設施位置的作業，兩項作業的自動化程度有限，皆以人工處理為主。因此本公司參考內政部歷來研究成果以及「三維道路模型建置手冊」，考量資料更新頻率以及整體建置經費等因素，觀測資料改以現有臺灣通用電子地圖圖資為主，使用臺灣通用電子地圖道路中線、道路面等圖層資料，配合內政部數值地形模型建置 LOD0 三維中心線道路模型以及 LOD1 三維彩帶式道路模型。臺灣通用電子地圖平面測製精度高於 1.25m，內政部數值地形模型解析度為 1m，高程精度約為 0.5m。LOD1 三維彩帶式道路模型其兩側邊緣高程一致，於規劃時不呈現道路之超高情形。

臺灣通用電子地圖於道路中線圖層已就道路結構以及來源定義分別進行分類，道路結構分為平面道路、立體道路、隧道、橋梁、地下道及交流道等六類；來源定義分為位置明確、受遮蔽但位置已知、受遮蔽但位置未知及規劃/興建/中斷等四類。為提升整體作業效率及模型品質，因此針對各類型道路結構以及各種來源定義採用不同之建置策略，如平面道路採用 DEM 資料，其餘道路類型採用 DSM 資料；而受遮蔽區域也需另外處理，以避免使用錯誤的高程資訊產製模型。

為能了解各來源定義以及各道路結構之占比，本公司以臺灣通用電子地圖範圍為例，計算各項占比。如下表 3-1。從中可以發現四種來源定義以位置明確占比最高，而六種道路結構中，平面道路的占比遠高於其他幾種類型。這些資訊於規劃全臺灣道路模型建置策略時皆會納入考量。

表 3-1 全臺多元道路類型占比表

來源定義	道路結構	數量	數量佔比	長度(km)	長度佔比
位置明確	平面道路	1,362,344	96.9431%	159,603.6	96.2565%
位置明確	橋梁	34,002	2.4196%	1,666.9	1.0053%
位置明確	隧道	15	0.0011%	5.0	0.0030%
位置明確	交流道	4,001	0.2847%	1,244.3	0.7504%
位置明確	立體道路	2,394	0.1704%	2,713.1	1.6363%
位置明確	過水路	275	0.0196%	67.3	0.0406%
位置明確	地下道	21	0.0015%	7.7	0.0046%
受遮蔽但位置已知	平面道路	533	0.0379%	24.8	0.0150%
受遮蔽但位置已知	橋梁	8	0.0006%	1.3	0.0008%
受遮蔽但位置已知	隧道	546	0.0389%	197.9	0.1194%
受遮蔽但位置已知	交流道	19	0.0014%	0.6	0.0003%
受遮蔽但位置已知	立體道路	11	0.0008%	7.7	0.0047%
受遮蔽但位置已知	地下道	150	0.0107%	42.8	0.0258%
受遮蔽但位置未知	平面道路	53	0.0038%	5.0	0.0030%
受遮蔽但位置未知	橋梁	2	0.0001%	0.6	0.0004%
受遮蔽但位置未知	隧道	86	0.0061%	39.6	0.0239%
受遮蔽但位置未知	地下道	33	0.0023%	12.6	0.0076%
規劃/興建/中斷	平面道路	754	0.0537%	155.0	0.0935%
規劃/興建/中斷	橋梁	27	0.0019%	4.9	0.0030%
規劃/興建/中斷	隧道	7	0.0005%	1.0	0.0006%
規劃/興建/中斷	交流道	8	0.0006%	2.8	0.0017%
規劃/興建/中斷	立體道路	10	0.0007%	5.2	0.0031%
規劃/興建/中斷	地下道	3	0.0002%	0.9	0.0006%
全部	全部	1,405,302	100%	165,810.6	100%

本公司針對運用現有圖資建置三維道路模型方法規劃建置流程，共分為六個步驟，建立道路面多邊形、重建位相關係、折點加密、高程資料處理、高程平滑化以及道路模型建置，整體作業流程如圖 3-1，而本章節將就上述六項作業內容進行說明。

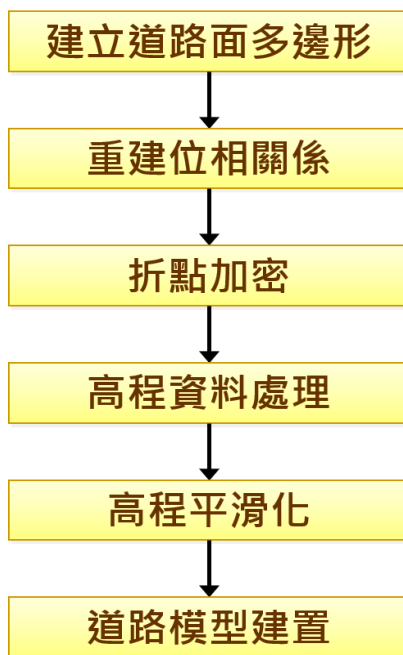


圖 3-1 建置三維道路模型流程圖

3.1 建立道路面多邊形

產製三維道路模型的第一個步驟是建立道路面多邊形，此步驟決定三維道路模型的平面位置，本公司針對建立道路面多邊形的步驟測試了三種不同的方式，前兩種皆以道路中線為主，但是設定不同的道路寬度參數，由道路中線擴張後取得道路面多邊形，而第三種則是直接利用臺灣通用電子地圖既有的道路面資料做為道路面多邊形。前兩種方法設定的道路寬度參數，第一種為使用電子地圖道路中線既有的道路寬度欄位資料，第二種為重新計算電子地圖道路中線至道路面的最短距離做為道路寬度。

三種不同方法的道路面多邊形成果如圖 3-2~3-4，分析三種方法不同的優劣，如表 3-2，利用中線擴張的兩種方法其建置方法較為簡單，道路面的折點也較為單純，但是第一種方法由於既有道路寬度的欄位資料可能與現實狀況有落差，因此道路面成果會有較多不合理性。第二種方法重新計算了道路中線至道路面的距離，因此會道路面成果會減少許多不合理的區塊，但是這種方式無法表達複雜的道路面多邊形，如圖 3-3 中右下方，道路尾端的圓形部分。而第三種方法直接採用電子地圖道路面資料做為道路面多邊形的方法，其優點就在於可以呈現電子地圖的道路面，其細緻的道路面資料與真實情況最為接近，也可以表達複雜的多邊形成果，雖然其道路面的折點數量較多也較複雜，但是比較三種方法的優劣以及呈現的效果之後，本公司選擇

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案

使用第三種方法，直接利用臺灣通用電子地圖道路面做為道路面多邊形，而道路面的邊緣線同樣繼承電子地圖邊緣線的定義，以車行範圍為邊緣線，不包含人行道的部分。

表 3-2 三種建立道路面多邊形方法比較表

類型	優點	缺點
道路中線-既有欄位	建置方式簡單無需額外計算 道路面折點單純	面成果會有不合理性
道路中線-線至面的距離	面成果與真實情況較接近 道路面折點單純	無法表現複雜的多邊形
道路面	與真實情況最接近，可以表達複雜的多邊形	道路面折點複雜



圖 3-2 利用道路中線及既有欄位建立多邊形示意圖



圖 3-3 利用道路中線及計算成果建立多邊形示意圖

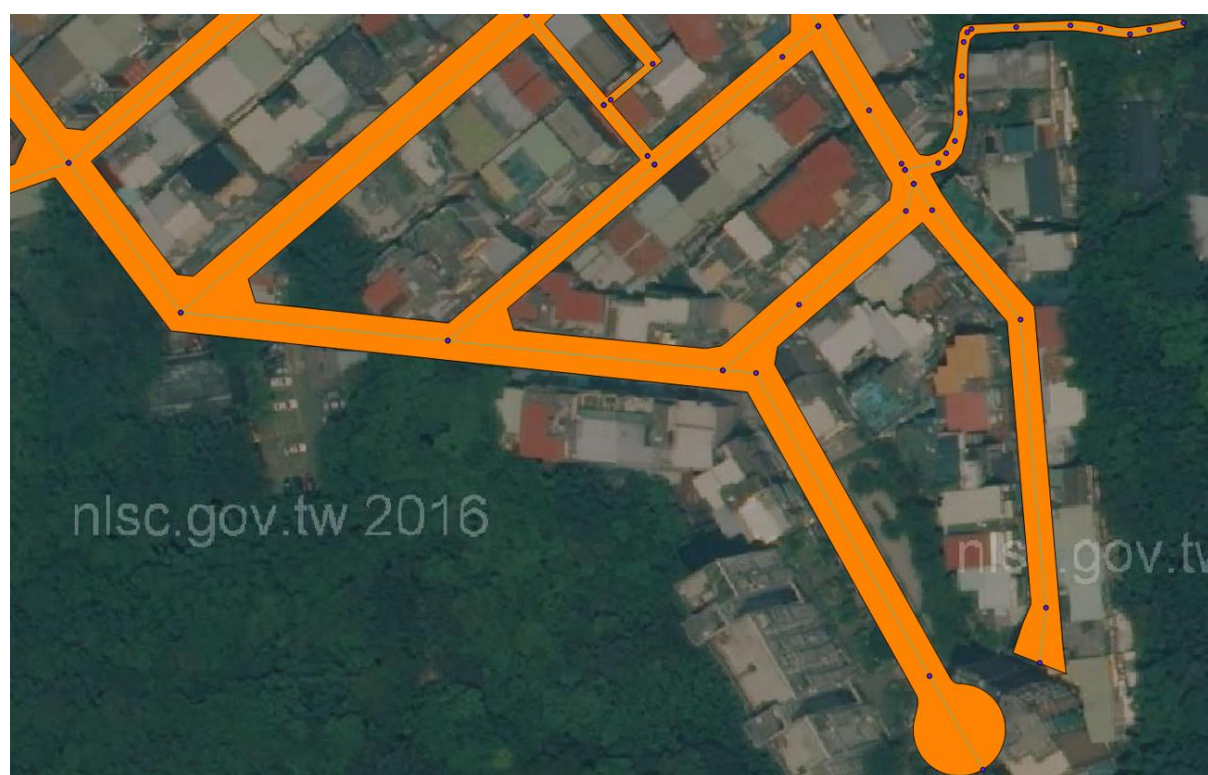


圖 3-4 電子地圖道路面示意圖

3.2 重建位相關係

LOD0 三維道路中線模型以臺灣通用電子地圖道路中線資料為基礎建置，電子地圖道路中線圖層共有 23 個欄位，如表 3-3；LOD1 三維彩道式道路模型則依據前節所述建議，以臺灣通用電子地圖道路面資料為基礎建置，屬性資料則依據需求由中線資料建立。臺灣通用電子地圖道路中線資料內的道路結構碼欄位記錄該道路所屬類型結構，因此利用該欄位將道路中線分為平面道路、立體道路、隧道、橋梁、地下道及交流道六種類型。依照各類型之道路，建立道路中線與所屬道路面之位相關係，確認每段道路中線對應的道路面，例如道路中線為平面道路類型者與平面道路面建立位相關係，道路中線為立體道路類形者則與立體道路面建立位相關係。

由於現有臺灣通用電子地圖圖層架構中，道路部分的面圖層只分為三類，包含一般道路面(面)、立體道路面(面)、隧道面(面)，因此需要依照道路類型重新分類並建立道路多邊形。將各類型道路中線對應的道路面配合臺灣通用電子地圖中的道路分隔線(ROADSP)進行道路分層，依據不同的道路類型以及受遮蔽之情況切分原有的三個道路面圖層，如圖 3-5。除此之外，道路中線為地下道類形者，除了與隧道面建立位相關係外，也有部分裸露區塊屬於平面道路面，因此也需與平面道路建立位相關係，如圖 3-6。

表 3-3 電子地圖道路中線圖層欄位資料表

欄位名稱(英文)	欄位名稱(中文)	內容說明				
ROADSEGID	道路線段識別碼	縣市碼(1 碼)+流水號(10 碼)				
ROADCLASS1	道路分類編碼1	記錄交通部之道路等級分級碼				
ROADCLASS2	道路分類編碼2	記錄內政部地形圖資料標準之道路編碼。				
ROADCODE	公路編碼	<table border="1"><tr><td>AAA</td><td>B</td></tr><tr><td>公路主碼</td><td>公路附碼</td></tr></table> 此欄位中記錄公路系統之公路編號，若其公路編號中含有附碼者，如甲，乙，-1，-2之類者，其公路編碼附碼為對應之大寫英文代碼，如：甲=A；乙=B；-1=A；-2=B以此類推，對於公路編碼無附碼者，其附碼為0。如國1=001。臺1甲=001A。	AAA	B	公路主碼	公路附碼
AAA	B					
公路主碼	公路附碼					
COUNTY	縣市名稱	該路段所屬的縣市名稱				
ROADSTRUCT	道路結構碼	0：一般平面道路 1：橋梁 2：隧道 3：匝道 4：高架 5：過水路 6：地下路段				
ROADNUM	道路編號	記錄該路段所屬國道、省道、縣道、鄉道及產業道路(農路)等道路等級與編碼，如：國1、臺3、縣187、嘉1、農投草中27等。				
ROADNUM1	道路編號1	若同時有兩種道路等級發生共線時，於此欄位記				

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案

欄位名稱(英文)	欄位名稱(中文)	內容說明
		錄第二個所屬之省道、縣道、鄉道及產業道路(農路)等道路等級與編碼,如:臺21、縣168、投10等。
ROADNUM2	道路編號2	若同時有三種道路等級發生共線,於此欄位記錄第三個所屬之省道、縣道、鄉道及產業道路(農路)等道路等級與編碼,如:臺28、縣110、市1、農苗灣11等。
ROADNAME	道路名稱	記錄路段所屬國道、省道、縣道、鄉道及市區道路之道路名稱。(交流道、匝道名稱註記於此欄位)
ROADALIAS	道路別名	除上述道路名稱外,若道路有其他一般公認名稱,皆可記錄於此欄位,如:中山高速公路、中豐公路、碧湖產業道路、忠孝圓環等。
ROADCOMNUM	共線路段數	記錄本路段之共線道路數目(不含本身)
RDNAMESECT	段名	記錄路段所屬段別,如:一段、二段等
BRITUNNAME	橋梁名、隧道名	記錄各座橋梁、隧道名稱
RDNAMELANE	巷名	記錄路段所屬巷名,如:新光巷、19巷等
RDNAMENON	弄名	記錄路段所屬弄名,如:1弄、2弄等
WIDTH	路寬	原則上記錄各路段之最大路面寬度,即含中央分隔島之參考道路路面範圍。
FNODE	起節點識別碼	可對應道路節點屬性檔之節點識別碼
TNODE	迄節點識別碼	可對應道路節點屬性檔之節點識別碼
MDATE	測製年月	僅填至月份,如:2008年3月,則填入200803
SOURCE	資料建置代碼	0:立體製圖 1:地測 2:航拍正射數化 3:引用1/1,000地形圖 4:引用門牌系統圖資 5:引用1/5,000GIS資料庫資料 6:引用其他圖資 7:測繪車 8:設計/竣工圖資 9:衛照正射數化
DEFINITION	來源定義代碼	0:位置明確 1:受遮蔽但位置已知 2:受遮蔽但位置未知 3:規劃/興建/中斷
DIR	方向性代碼	0:雙向道(雙向車行) 1:單行道(單向車行;車行方向與數化方向一致)



圖 3-5 道路分層示意圖

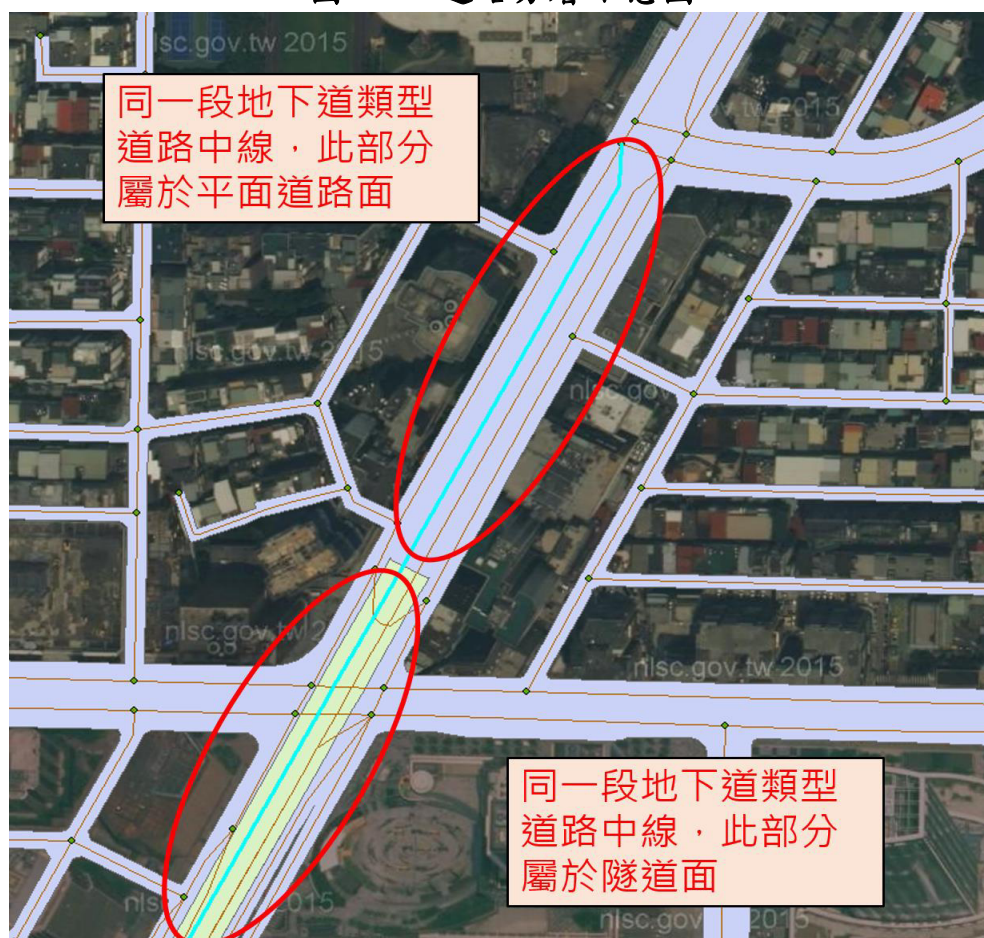


圖 3-6 道路面與道路中線建立位相關係示意圖

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案

立體道路面中又包含交流道、國道一號以及汐五高架段等不同分層的道路，因此藉由道路分隔線(ROADSP)將這些道路分層。依據道路類型以及道路中線結構，重組切分後的道路多邊形，新增受遮蔽區域之多邊形，並將相同類型的多邊形進行合併，最終會得到每個類型的分層道路面。如圖 3-7。分層後之成果再依使用者需求分割道路面資料，最後將分割後的道路面與臺灣通用電子地圖道路中線重建位相關係，依據需求建立屬性。整體重建位相關係流程如圖 3-8。

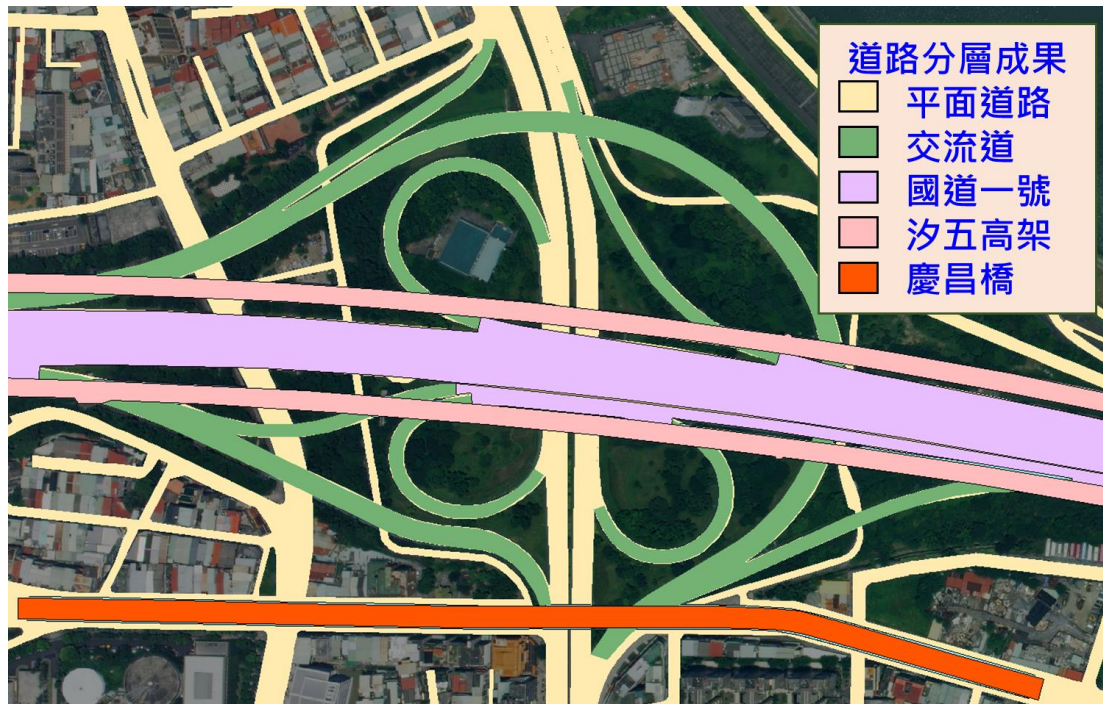


圖 3-7 道路分層成果示意圖

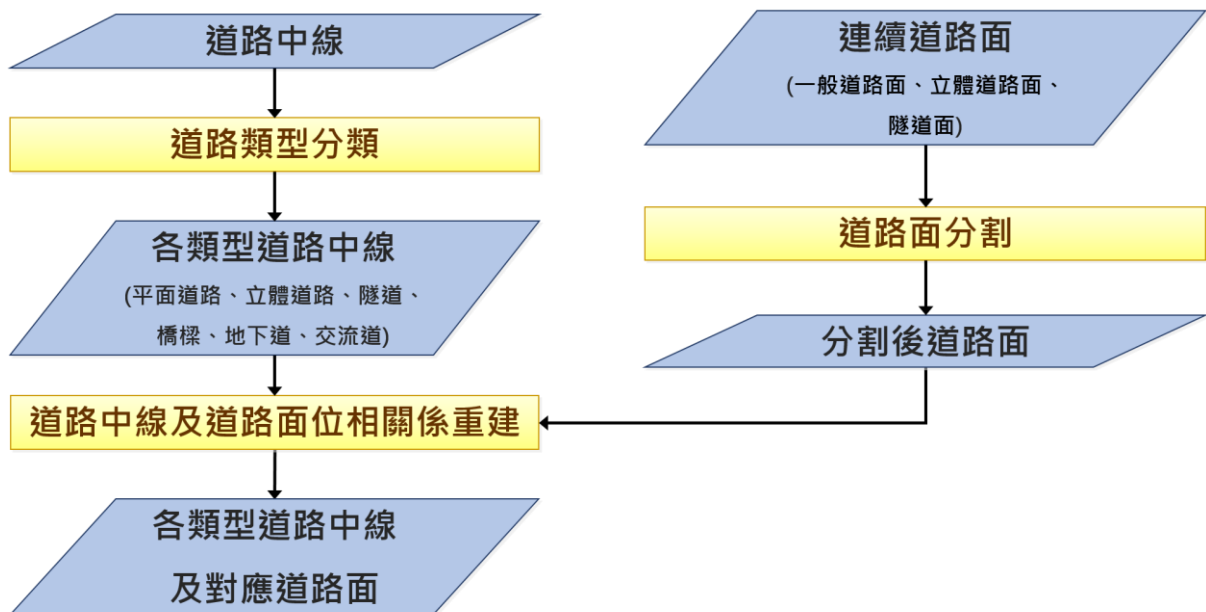


圖 3-8 重建位相關係流程圖

電子地圖三個道路面原有的屬性資料皆只有記錄多邊形的序號，道路的屬性資料皆記錄於道路中線內。電子地圖原有的道路面資料都只有依據圖幅進行分割，若是要配合不同屬性的展示需要另外的分割處理，但是進行分割處理時需要特別考量道路具有連續性的特性，與建物為獨立單元的特性不同。本公司針對道路面的分割處理分析了五種不同的方法，第一種是只依據道路類型分割，不額外配合屬性展示進行分割，如圖 3-9。第二種是三角網自動分割，如圖 3-10。第三種是配合道路等級屬性進行人工分割，如圖 3-11。第四種是依據道路中線節點進行人工分割。第五種是以半自動化的方式依據需求屬性欄位進行路口分割，如圖 3-12。

將上述五種方法分別比較，從四個面向進行分析，這四個面向分別是建置成本、模型屬性欄位、自動化程度及分割單元數量。分析成果如表 3-4。從建置投入的人力及時間來看，第一種方法的建置成本最低，第四種方法的建置成本最高。從屬性欄位的分析來看，第一種方法將道路中線的屬性欄位保留在 LOD0 的中線模型內，LOD1 的道路面模型只記錄道路面流水編號。其餘的四種方法在 LOD1 的道路面模型上則可以記錄較多的屬性欄位資料，而模型查詢分析功能則對應了記錄的屬性欄位，從自動化程度來看，使用三角網自動分割的自動化程度最高，人工分割的兩種方式自動化程度最低，分割的單元數量會影響到圖臺系統的運行效能以及展示流暢度，用三角網自動分割的單元數量會最多，不額外分割的方式則單元數量最少。從上述四個面向分析完各種方法之後，比較這五種方法的優缺點如表 3-5，比較各項優缺點後本公司建議採用第五種方法，依據需求屬性欄位進行路口分割的方法。

表 3-4 五種道路面分割方式分析表

道路面分割方式	建置成本排序	屬性欄位	自動化程度	分割單元數量排序
不額外分割 (道路類型)	1	道路面流水編號	-	1
三角網自動分割	2	承繼道路中線	高	5
人工分割- 依據 需求屬性分割 (Ex.道路等級)	4	需求屬性 (Ex.等級、路名)	低	2
人工分割- 依據 道路中線節點	5	承繼道路中線	低	4
半自動分割- 依據需求屬性 進行路口分割	3	需求屬性 (Ex.等級、路名)	中等	3

表 3-5 五種道路面分割方式優缺點比較表

道路面分割方式	優點	缺點
不額外分割 (道路類型)	建置成本低。	LoD1模型屬性只有流水編號，無法操作查詢及分析功能，後續應用面小
三角網自動分割	LoD1模型可承繼所有道路中線屬性，進而操作查詢及分析功能。	分割單元數量最多。 一個LoD1模型僅能承繼一條道路中線屬性，故於交叉路口時，模型在屬性上無法呈現多條路線相交情形，造成道路面於交叉路口屬性不連續，影響分析。
人工分割- 依據 需求屬性分割 (Ex.道路等級)	LoD1模型可承繼所需道路中線屬性，進而操作查詢及分析功能。	須大量人工介入，建置成本次高。 一個LoD1模型僅能承繼一條道路中線屬性，故於交叉路口時，模型在屬性上無法呈現多條路線相交情形，造成道路面於交叉路口屬性不連續，影響分析。
人工分割- 依據 道路中線節點	LoD1模型可承繼所有道路中線屬性，進而操作查詢及分析功能。	須大量人工介入，建置成本最高。 分割單元數量龐大。 一個LoD1模型僅能承繼一條道路中線屬性，故於交叉路口時，模型在屬性上無法呈現多條路線相交情形，造成道路面於交叉路口屬性不連續，影響分析。
半自動分割- 依據需求屬性 進行路口分割	LoD1模型分為一般路線及交叉路口2類，交叉路口模型承繼多條中線屬性，可呈現多條路線相交情形。 LoD1模型可依據需求承繼所需道路中線屬性，進而操作查詢及分析功能。	半自動化處理，路口分割成果需人力介入檢核。

以下說明各種分割方法。第一種只依據道路類型分割，不額外配合屬性展示進行分割的方法，其建置投入的人力及時間最低，查詢及

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案

分析功能則利用 LOD0 道路模型完成。

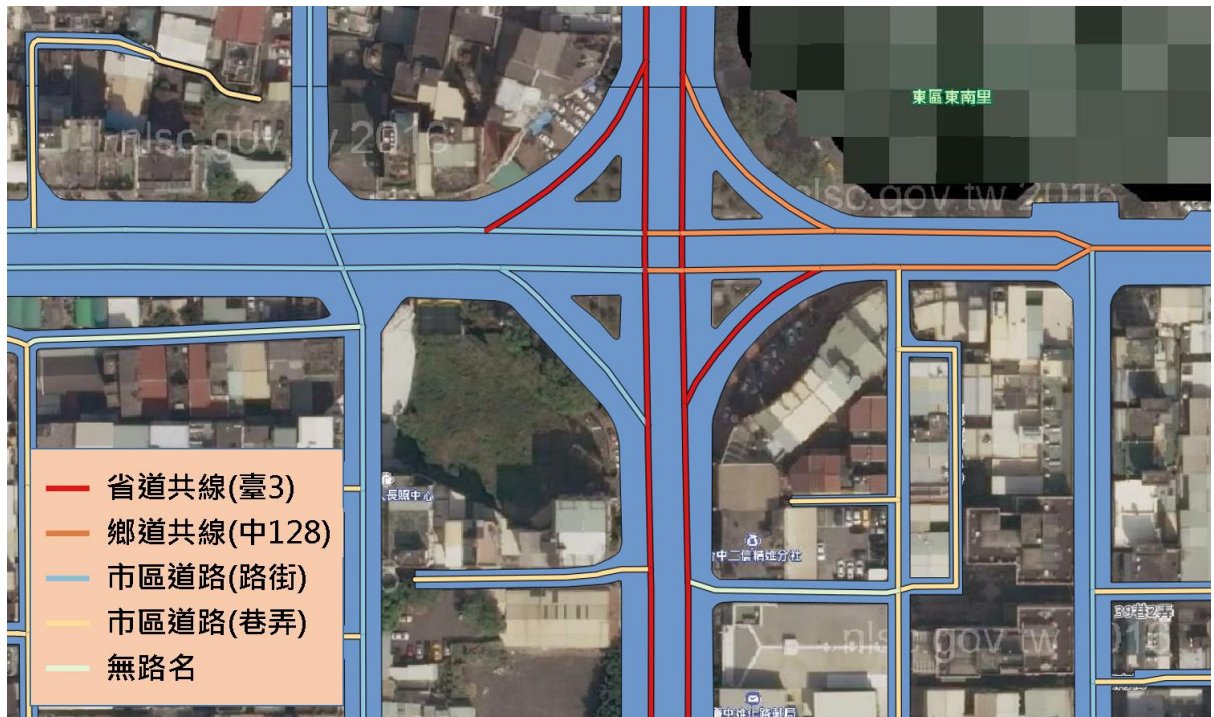


圖 3-9 依據道路類型不額外分割方式示意圖

第二種使用三角網自動分割的方法，其建置投入的人力及時間次低，但是呈現效果差，過多的多邊形單元對於圖臺的顯示負擔也很大。

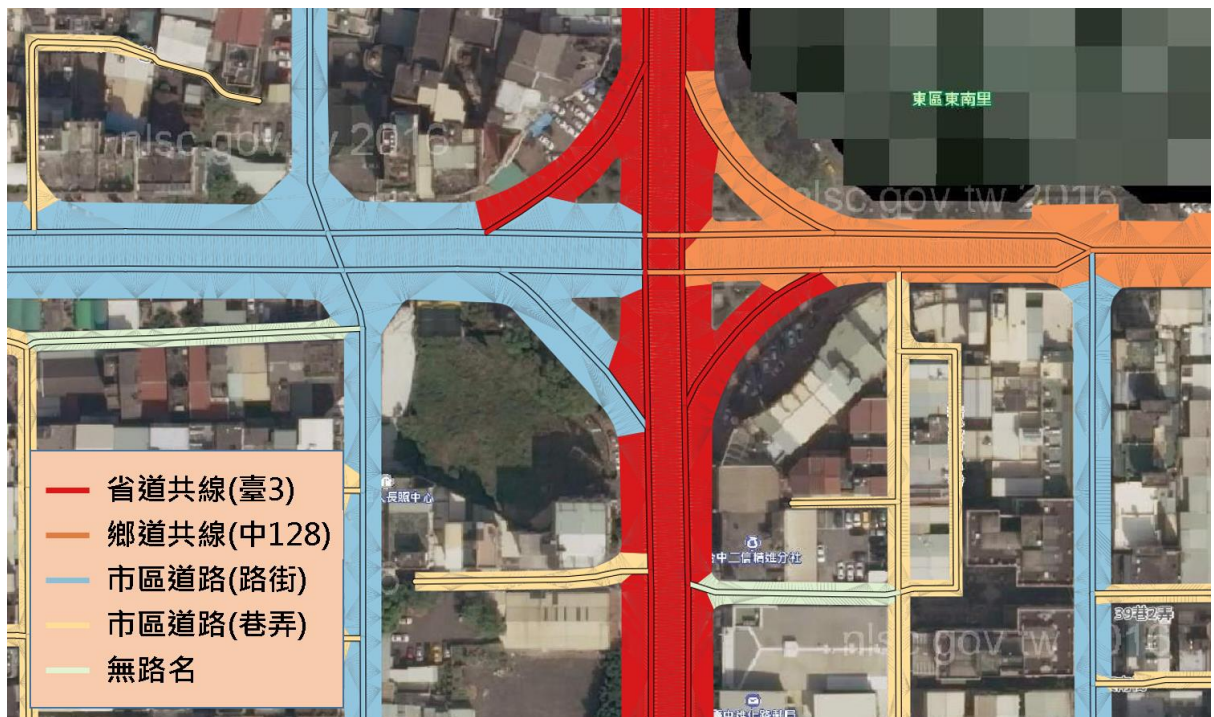


圖 3-10 三角網自動分割方式示意圖

第三種是配合道路等級屬性進行人工分割的方法，其建置成本較高，呈現效果也較好，並且查詢及分析功能也可以針對 LOD1 道路模型操作。

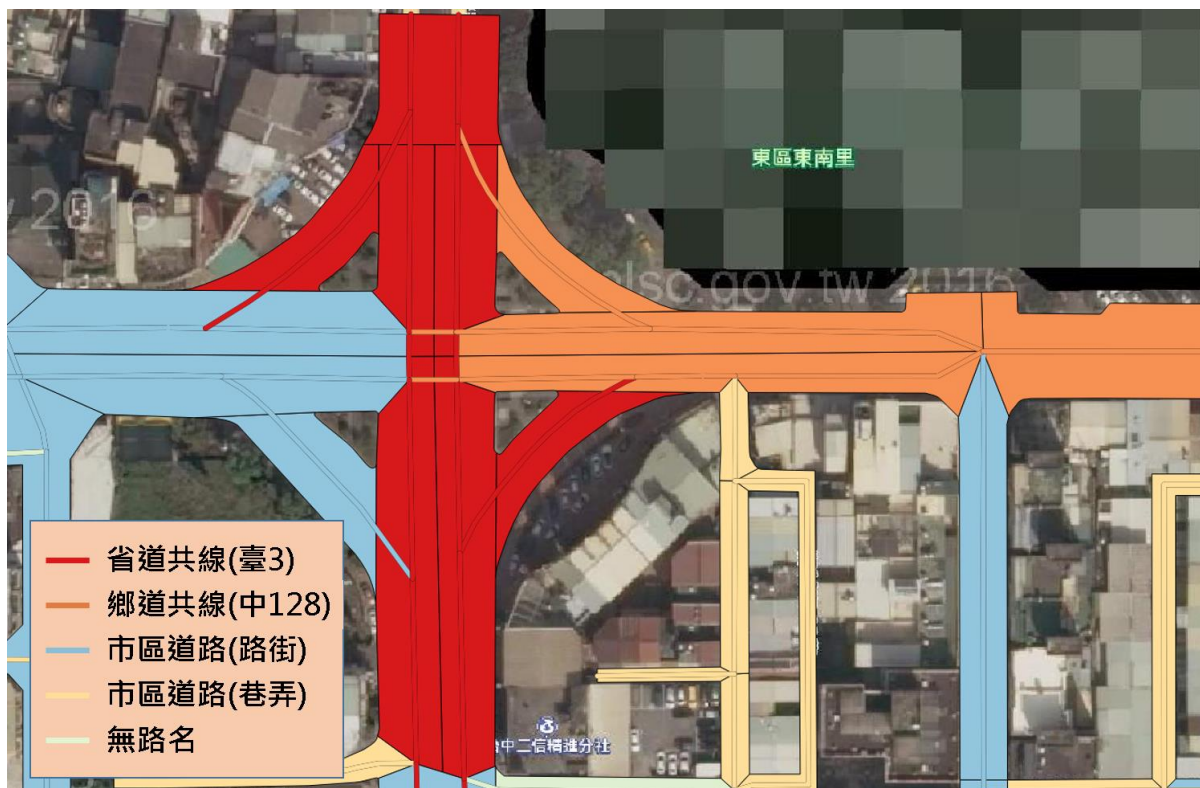


圖 3-11 人工分割方式示意圖

第四種是依據道路中線節點進行人工分割，呈現效果好，LOD1 道路模型繼承道路中線屬性進行查詢及分析，但是其建置成本也最高。

上述的分割方法由於道路面繼承單一屬性的問題，都會在交叉路口處遇到道路面不連續的問題。如圖 3-13，進化路為南北向的道路，中間路的路口被分配給進化路，但是查詢東西向的精武路時，由於路口已經分配給進化路，所以呈現時會缺少路口的區塊，造成道路面的不連續。

考量上述道路面不連續的問題以及參考紐約市道路模型的做法，本公司建議採用第五種方法，依據需求屬性欄位進行路口分割的方法，其效果如圖 3-12。如圖中綠色區塊，將交叉路口的路口區域單獨分割為路口區塊，該區塊同時繼承各交叉路段的屬性資料，例如十字路口，則記錄兩條交叉的道路名稱以及各自的道路等級，可以依據需求重新設計道路面需要記錄的屬性欄位。而此種方法可以利用半自動化的方式完成，先利用電腦處理大部分的路口區域，再利用人工針

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案

對不合理的路口進行細部的編修。由於採用面狀資料建置三維道路模型，因此道路面的邊緣線同樣繼承電子地圖邊緣線的定義，以車行範圍為主，不包含人行道的部分。



圖 3-12 路口分割方式示意圖

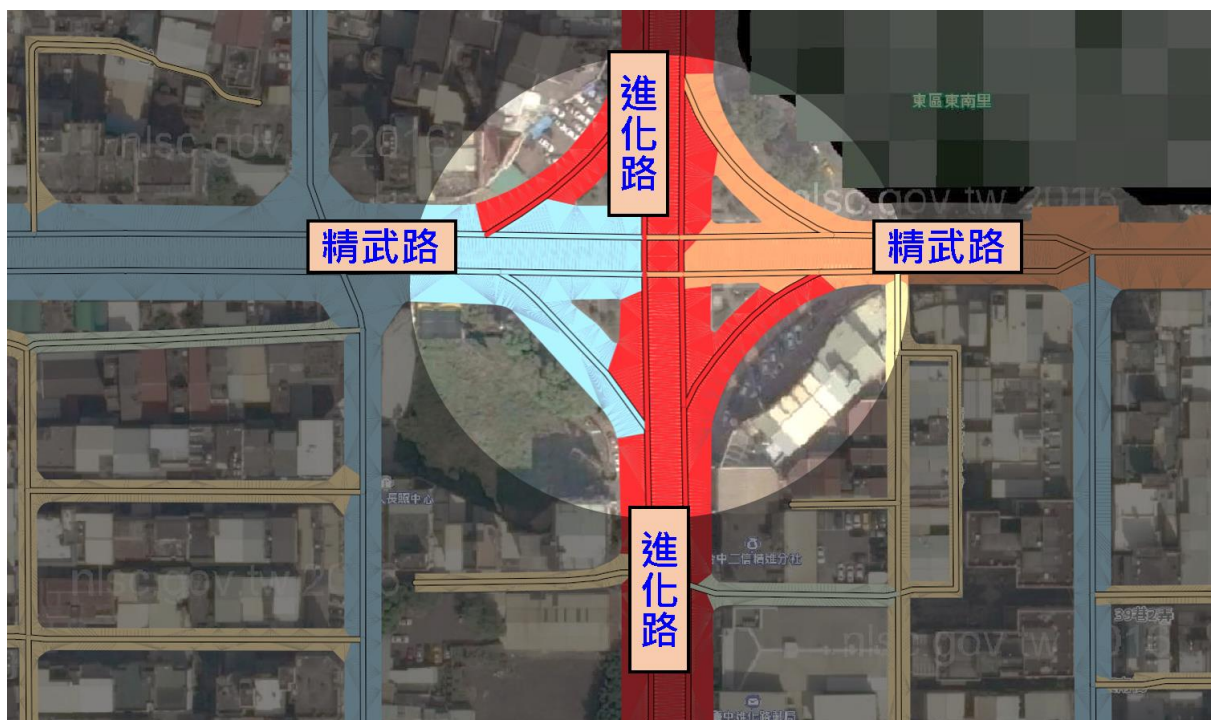


圖 3-13 道路面單一屬性問題示意圖

3.3 折點加密

由於道路模型的高程變化呈現是由各個折點記錄的高程值決定，而為了使 LOD1 的彩帶式道路模型其彩帶左右兩側的邊緣高程盡量一致，因此針對道路中線以及處理後的道路多邊形皆會進行折點加密，加密的方法為依據中線折點或是道路面邊緣線折點之間的距離判斷是否需要增加虛擬折點，目前設定的判斷距離為五公尺，其加密後的成果如圖 3-14。折點加密的門檻值設定會影響點數的多寡，若點數太多則會影響模型運作效能，但若是點數太少，則無法展現高程變化，並容易使模型產生高程抖動的情況。

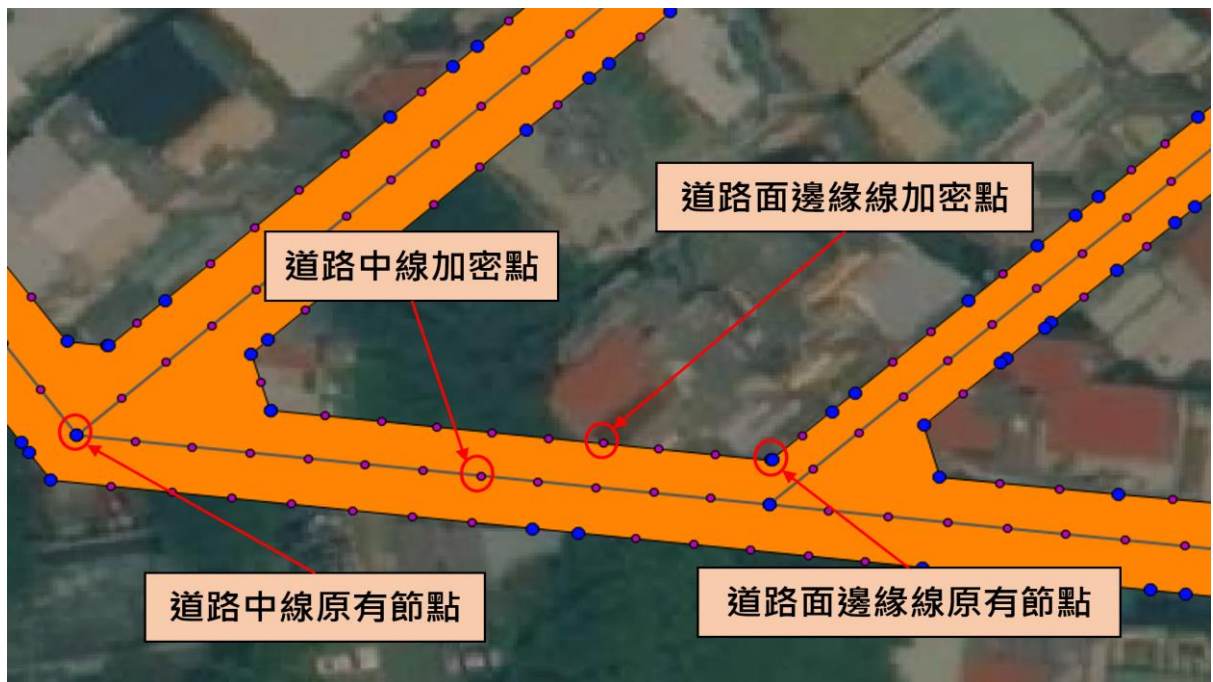


圖 3-14 折點加密成果示意圖

3.4 高程資料處理

經過上述三個步驟之後，三維道路模型的平面資訊已經處理完畢，接著進入高程資訊的處理，首先需利用道路面資料進行路面判斷，將屬於道路面內的高程資訊從 DEM 或 DSM 中取出，如圖 3-15 及 3-16。接著進行粗差濾除，沿著道路方向逐步計算，以道路中線折點為圓心，一半的路寬為半徑，逐步過濾範圍內超過 2.5 倍標準差的高程值。粗差過濾後，重新計算每個範圍內的高程平均值作為各個折點的初始高程值，如圖 3-17。

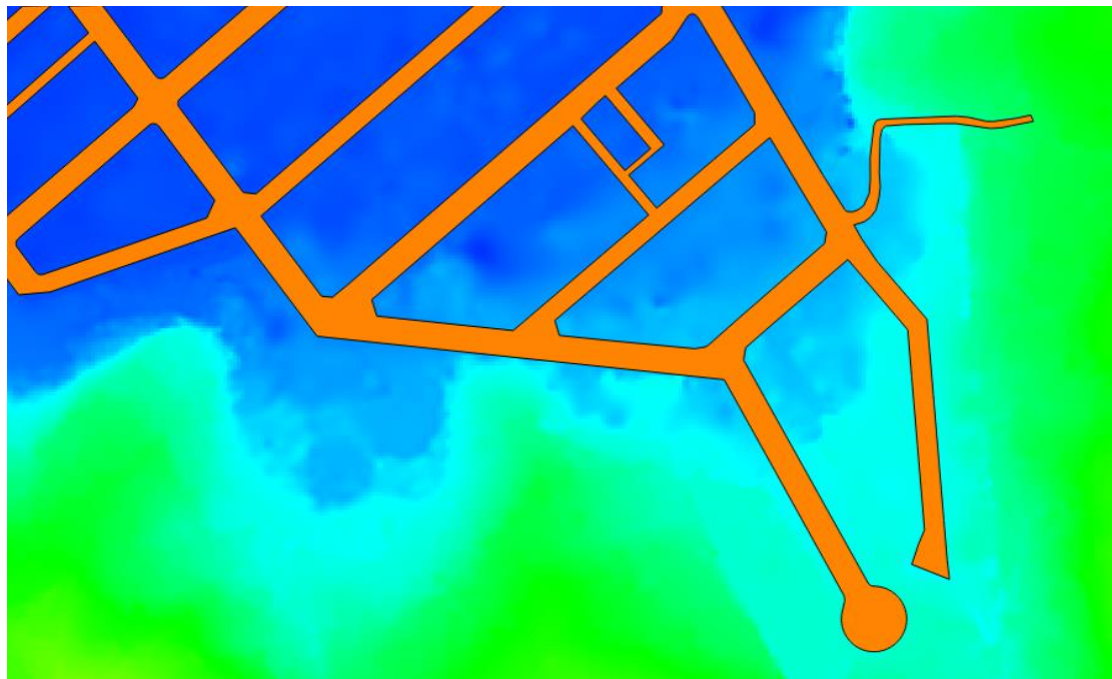


圖 3-15 道路面高程資訊判斷示意圖

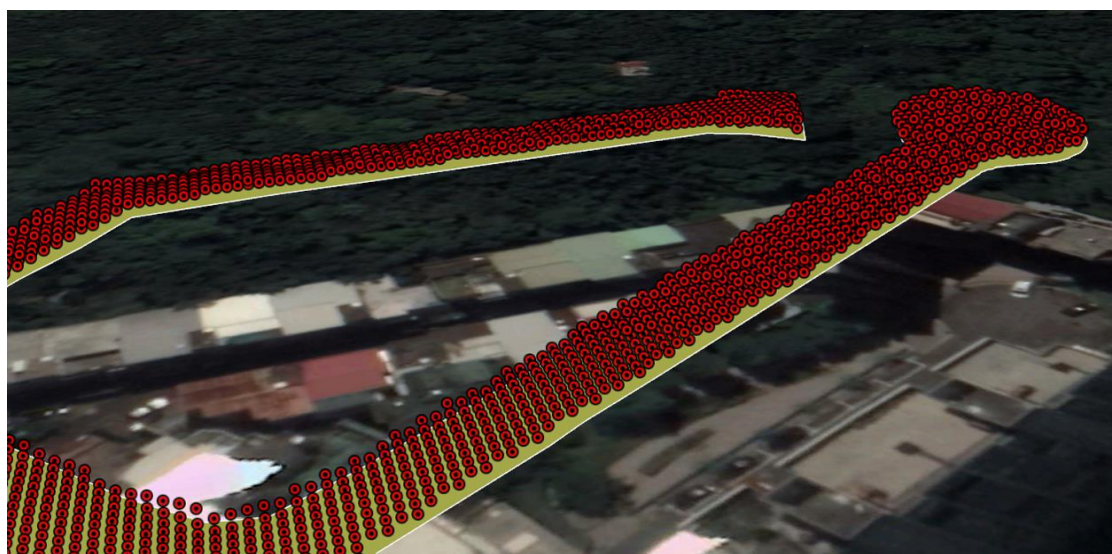


圖 3-16 道路面高程資訊判斷示意圖

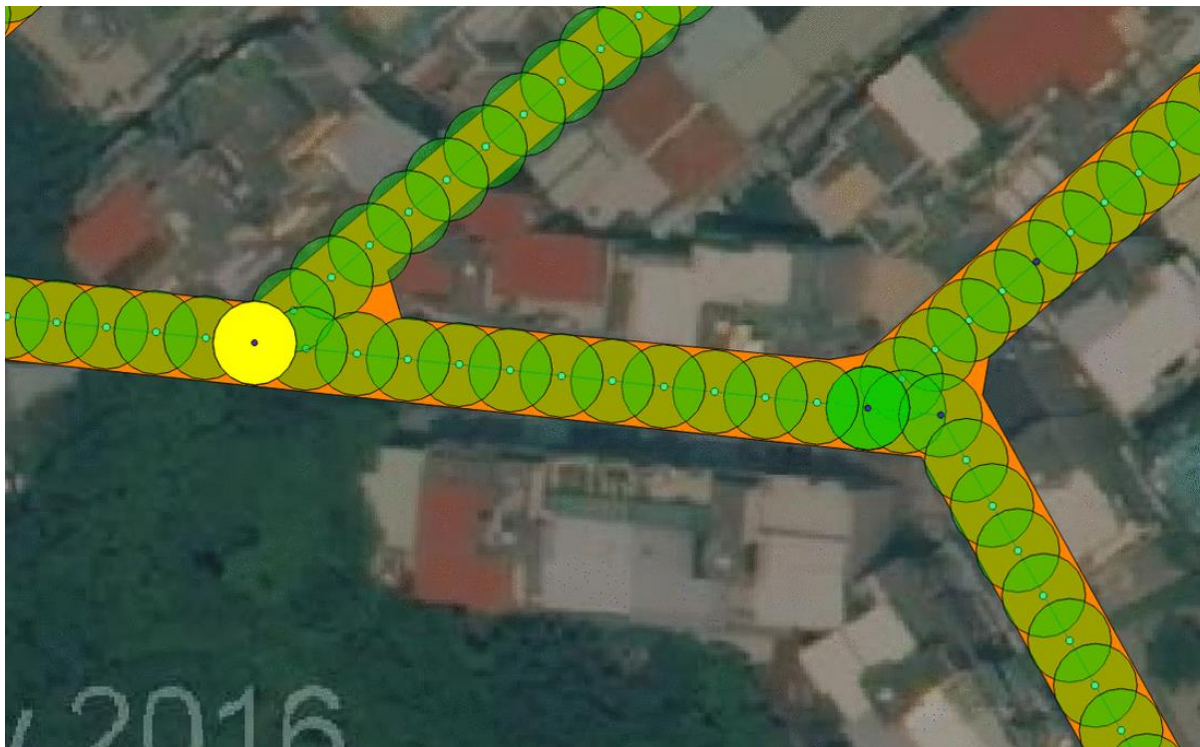


圖 3-17 道路高程粗差濾除示意圖

3.5 高程平滑化

取得道路中線各個折點的初始高程值後進行高程平滑化的步驟，每條道路皆獨自計算一階(4-1)、二階(4-2)與三階(4-3)多項式，並從中挑選中誤差最小的模式進行擬合，公式中 H 為各點高程， S 為該段道路起始節點至各折點的長度，運用最小二乘運算求解，如圖 3-18。

$$H = a_1 + b_1 S \quad (4-1)$$

$$H = a_2 + b_2 S + c_2 S^2 \quad (4-2)$$

$$H = a_3 + b_3 S + c_3 S^2 + d_3 S^3 \quad (4-3)$$

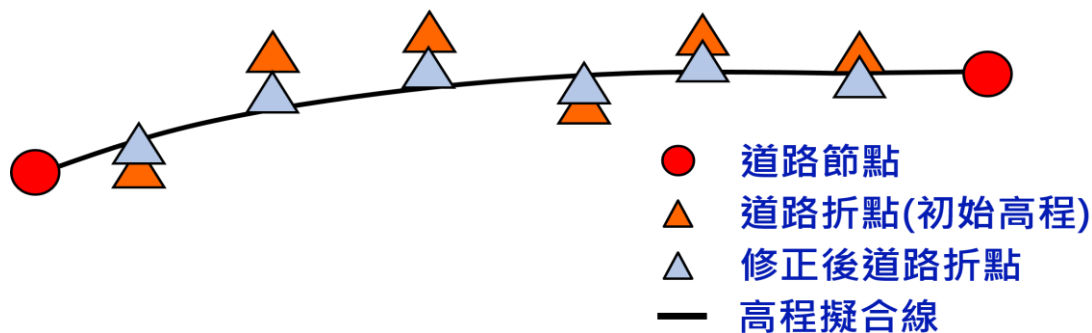


圖 3-18 高程平滑化示意圖

如 3.2 節所提，建議道路面依據需求欄位進行路口切分，而道路面完成路口切分後，多數的道路中線長度短且節點數量少，因此多以一階多項式模式的中誤差最小，道路長度分佈及道路節點數量分佈如圖 3-19，考量多數道路高程變化為線性變化，因此建議高程平滑化仍採用不同模式比較中誤差，不建議直接強制使用二階多項式的做法。

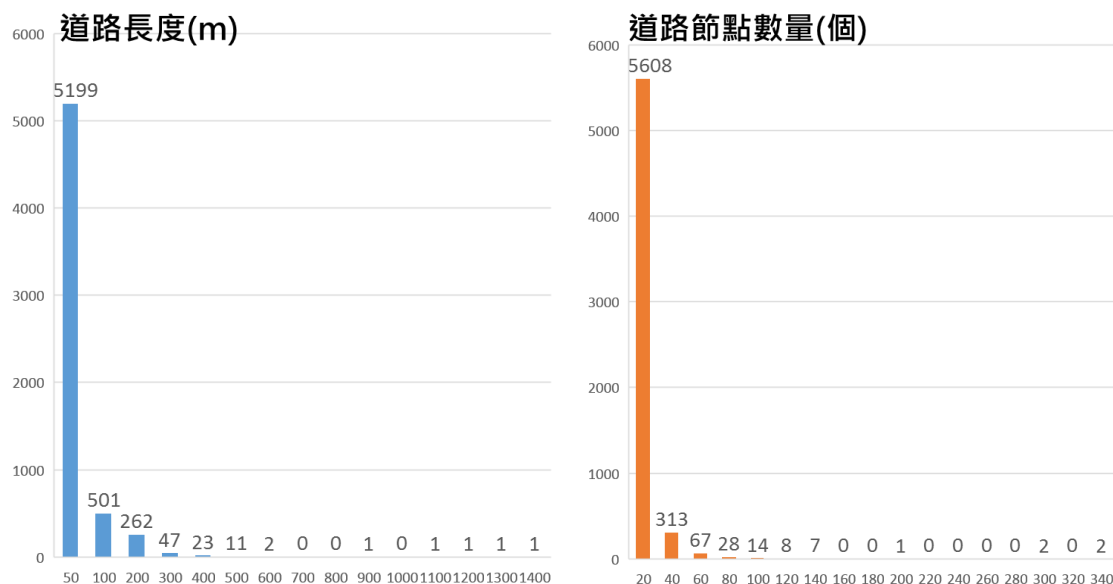


圖 3-19 道路長度及道路節點數量分佈圖

3.6 道路模型建置

完成道路中線折點的高程平滑化後，將各個道路面邊緣線折點尋找最接近的道路中線折點，取該道路中線折點修正後的高程為該道路面邊緣線節點的高程值，即可得到三維彩帶式道路模型。模型建置完成後，需考量不同展示環境的格式要求，所以需要經過不同的檔案格式轉換。

現今支援展示三維模型的平臺眾多，如 Google Earth、ArcGIS portal、Skyline，透過網頁觀看的 Cesium 等，每個平臺皆有不少使用者於該平臺進行三維模型的開發、瀏覽以及應用。考量到各平臺對於三維模型格式之使用性以及不同格式間之互通性，本公司選擇以 KML (KMZ) 為三維道路模型成果檔案輸出格式。於作業期間內也配合國土測繪中心展示圖臺之需求進行資料格式轉檔，將三維道路模型轉換為 DAE 格式，在使用 KML 檔案包裝這些 DAE 檔案，以利成果於圖臺之成果展示。

三維模型檔案格式包羅萬象，除了檔案格式不同之外，也需要考

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案

量展示環境的不同，相同的檔案在不同的展示環境內仍有可能呈現不同的效果，因此後續仍將配合國土測繪中心的需求進行資料格式轉檔，也建議能有制式的測試平臺或是測試軟體可以確認三維模型之成果。

除此之外，依據本案規格需求書要求，需配合建置三維道路模型展示用示意輔助模型，如隧道出入口、隔音牆、橋墩等三維模型，以增加模型整體的擬真度及細緻度，如圖 3-20 及圖 3-21。

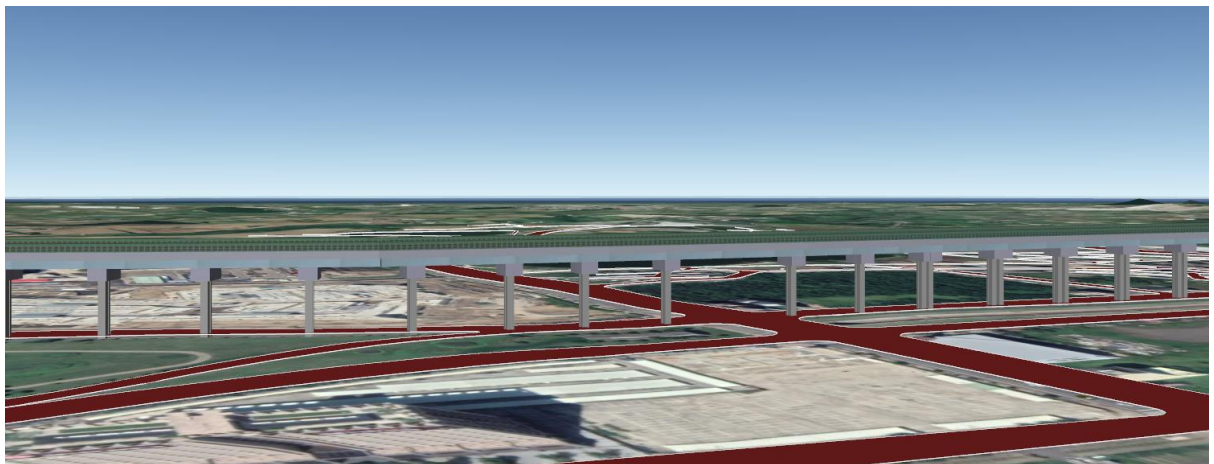


圖 3-20 橋墩模型示意圖

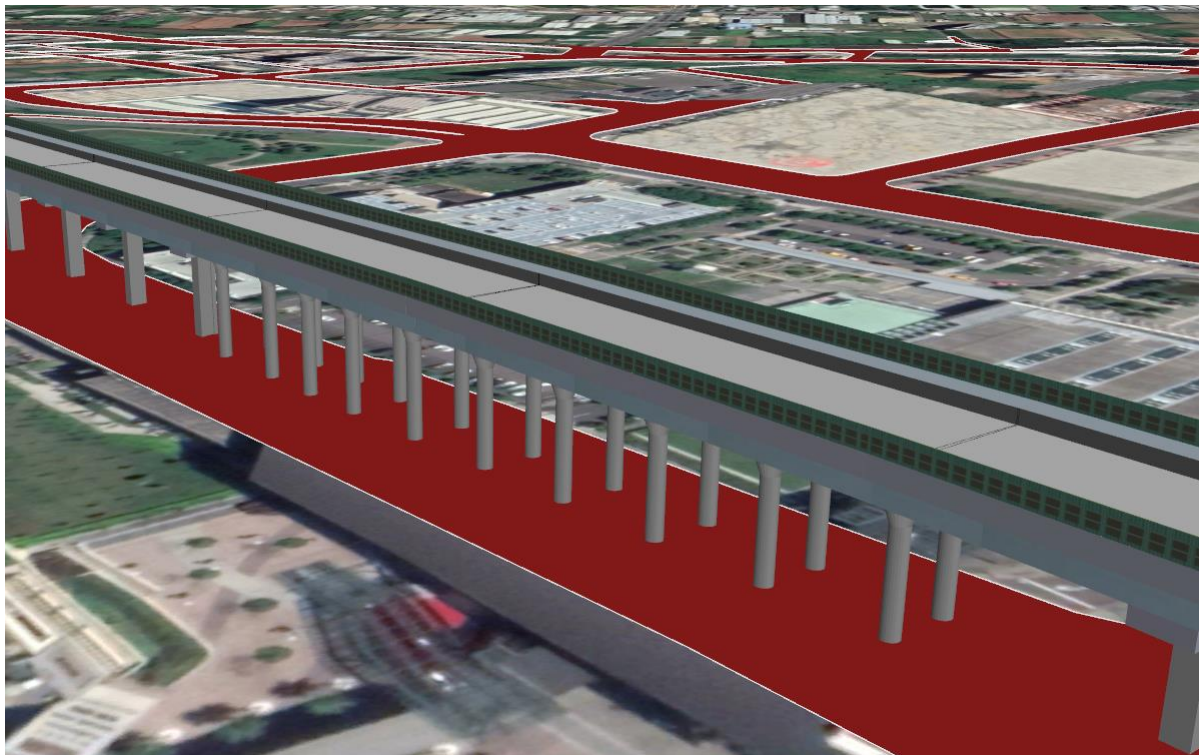


圖 3-21 隔音牆模型示意圖

3.7 道路紋理材質建置

考量三維彩帶式道路模型若是只以素面材質呈現，其效果可能較差，因此本公司為了提升對於三維彩帶式道路模型的效果感受，期望藉由貼附紋理材質的方式來達成。本公司針對道路紋理材質的產製進行了兩種不同方法的測試，第一種是利用道路資訊調查的道路標線實測圖資產製道路紋理材質；第二種則是利用電子地圖原有的道路中線以及道路寬度等資訊模擬標線位置，產製道路紋理材質。其成果如圖 3-22 及 3-23。

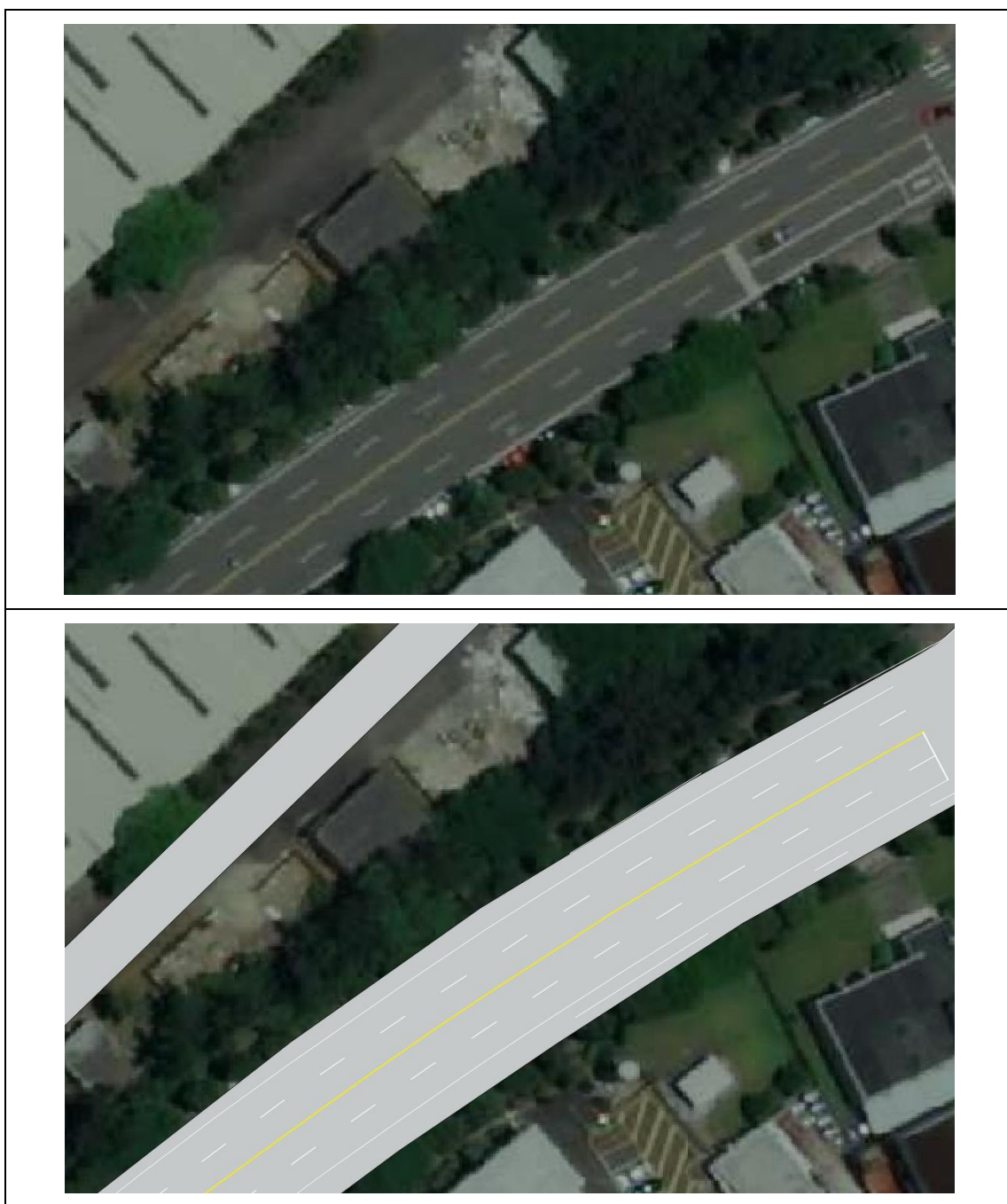


圖 3-22 利用道路資訊調查成果產製道路紋理材質示意圖



圖 3-23 模擬道路標線產製道路紋理材質示意圖

分析國外文獻及產製的三維道路模型，目前各國的 LOD1 三維彩帶式道路模型沒有使用紋理材質的案例，而訪談國內不同單位以及有實際產製三維道路模型的導航業者，其三維道路模型的紋理材質都是使用現地調查資料產製，更新頻率高，且具有使用者回報錯誤的機制。

分析其做法及考量後可以得知，由於交通標線對於一般民眾或是使用者具有相當的參考性。道路模型的紋理材質需要特別考量造成一般民眾或是使用者誤導的風險，因此需要有搭配的處理機制以及較為可信的資料來源，若是使用模擬的標線位置產製紋理材質，則負擔的風險可能無法承受。

因此為了提升對於三維彩帶式道路模型的效果感受，或許可以參考 CityGML 建置道路設施的方式來加強，像是建立道路相關的三維物件模型，如路燈、告示牌、號誌、標誌等物件模型，這些物件模型可以使用物件庫的概念建置，只需要調查這些物件的位置及尺寸，之後依據調查成果調整物件尺寸，最後將三維物件模型擺放到對應的位置，如此也能提升整體三維模型的效果感受。

3.8 無法透過現有圖資產製三維道路模型處理方案

由前面章節可知，影響三維道路模型建置之主要因素為高程資訊的來源，所以本案利用臺灣通用電子地圖之來源定義以及道路結構將路段進行分類，再依照分類結果選擇合適之高程資訊來源，如數值地表模型或數值高程模型，最終建立符合 OGC CityGML 所定義之 LOD1 道路模型（又稱三維彩帶式道路模型）。由於臺灣通用電子地圖(平面資訊)及 DEM(高程資訊)更新頻率不同，因此當遇到平面資訊已依照現況更新，但是高程資訊尚未更新的情況時，就需要考量無法透過現有圖資產製三維道路模型之處理方案，本公司也針對此狀況提出建議處理方案。

針對無法透過現有圖資產製三維道路模型之處理方案，較常見之情況為電子地圖(平面資訊)已經更新但 DEM(高程資訊)尚未更新，此時將利用前後期的電子地圖資料進行變遷偵測，利用向量資料不同或是屬性中的測製年月找出電子地圖已更新處，這些已更新處的平面資訊已經更新，但是沒有相應的更新後高程資訊，所以使用不同資料來源補足高程資訊，產製三維道路模型。另一種情況為電子地圖(平面資訊)以及 DEM(高程資訊)都尚未更新資料，但是透過新聞報導或是使用者回報等不同方式，掌握某區塊之道路已經更新且需要產製新的三維道路模型，此情況則直接以不同資料來源同時補足平面及高程資訊之方法，產製更新的三維道路模型。

最後尚有一種最為少見的情況為 DEM(高程資訊)已經更新但是電子地圖(平面資訊)尚未更新，考量電子地圖的更新頻率，此種情況可以等待隔年電子地圖作業時統一進行更新，若是有急迫需求需要更新三維道路模型，則可以參考電子地圖(平面資訊)以及 DEM(高程資訊)都尚未更新資料時的作法，直接使用不同資料來源同時補足平面及高程資訊之方法。前述指的不同資料來源包含有設計資料/工程圖、空載光達點雲、航照立體像對、測繪車資料、空拍機資料以及傳統地面測量資料等不同方式產製的資料。

本案由國土測繪中心協助，提供試辦區內辛亥路地下道的測繪車資料，如圖 3-24，藉由此路段的測繪車資料，評估測繪車輔助三維彩帶式道路模型建置之適用情況及成本。



圖 3-24 測繪車辛亥路地下道拍攝影像

測繪車資料可以用於兩種情況，一種為道路受遮蔽，無法取得高程資訊之區域，如地下道、隧道或是高架路段下被遮蔽的區域，另一種情況為前述所提，無法透過現有圖資產製三維道路模型之情況。第一種情況主要目標為取得遮蔽區域的高程資訊，不需要全面數化測繪的點雲資料，因此內業的人力處理成本較低。第二種無法透過現有圖

資產製三維道路模型的情況，若只是 DEM(高程資訊)資料尚未更新，則處理成本較低，但若是電子地圖(平面資訊)以及 DEM(高程資訊)都需要更新的情況下，則處理成本較高。綜合來說，測繪車外業拍攝的成本是固定的，但是內業人力處理的成本則有所不同，因此使用測繪車資料輔助三維道路模型建置時，每公里的總成本約為 12,000~18,000 元。此成本包含外業資料收集以及內業數化高程資訊兩個部分。以本次試辦區地下道為例，外業資料收集，測繪車執行任務時間約需一天，而內業人員處理測繪車資料及數化高程資訊共約需三天。

3.9 三維道路模型建置之策略、時間及成本分析

本案藉由試辦區實際執行經驗及工作時間統計進行成本分析，並依據成本分析成果研擬全臺三維道路建置之策略。依據 3-2 節所述，路口切方時是利用半自動化的方式進行，代表仍需要投入人力進行編修，因此經由實際產製三維道路模型之經驗得知，影響模型建置成本的主要因素有兩項，一項是道路長度，另一項則是路口數量，自動化處理的部分主要使用道路長度估算，路口處理的部分則主要反映路口需要人力編修的成本。本案藉由試辦區內各類型及各等級道路的工作時間推估成本，類型部分依據臺灣通用電子地圖道路結構碼共分為 6 類，等級部分依據臺灣通用電子地圖道路分類編碼共分為 20 類，除了基本的人事費用外再依據經驗加上硬體費用、管理費用及利潤等項目，最後估算各等級道路及各種類道路之路口單價費用表，如表 3-6；以及各等級道路長度單價費用表，如表 3-7。

由表 3-6 中可以看到各種道路類型及各種道路等級對應的路口處理單價費用，其含意為每個路口依據其類型及等級有不同的處理費用。此項單價由工作時間推估而得，其中，國道兩種等級以及快速道路兩種等級的單價明顯較高，主要的原因就是此兩種等級的處理難度較高，通常道路結構較為複雜，路口劃分方式判斷不易，因此處理工時較長，最終導致成本較高。如圖 3-25 及 3-26，分別為國道以及快速道路路口切分處的案例，圖中紅色或橘色的點即為需切分的路口節點，從道路中線及影像的套疊可以看各條道路的分布及範圍，但是套疊道路面圖層之後，即可發現原始的道路面為連續面，所以需要在路口處進行切分。

由表 3-7 中可以看到各種道路等級的對應的長度單價費用，由於此部分主要是自動化處理，不同種類的道路之間沒有差異，因此只有依據各種道路等級估算單價，而各等級道路的長度單價也相差不大，國道與快速道路單價較高的原因仍是結構較為複雜，所以自動化處理的程式需花較多時間開發，所以相對來說單價較高。

表 3-6 路口單價費用表

路口單價表 (元/個)	1_橋樑	2_隧道	3_匝道	4_高架	6_地下道	7_平面道路
1a_HW國道	1,800	1,200	2,200	2,500	1,000	1,000
1b_HU國道附屬	1,800	1,200	2,200	2,500	1,000	1,000
1c_OE公務專用	120	120	120	120	120	120
2a_RE市區快速道路	2,300	1,200	2,700	3,000	1,500	2,000
2b_1E省道快速道路	2,300	1,200	2,700	3,000	1,500	2,000
3a_1W省道	480	288	504	504	288	216
3b_1U省道	480	288	504	504	288	216
4a_2W縣市道	360	216	378	378	216	162
4b_2U縣市道	360	216	378	378	216	162
4c_3W鄉道	360	216	378	378	216	162
4d_3U鄉道	360	216	378	378	216	162
4e_4W產業道路	240	144	252	252	144	108
4f_4U產業道路	240	144	252	252	144	108
5a_RD一般道路	240	144	252	252	144	108
5b_AL巷弄	240	144	252	252	144	108
5c_OR有路名無法歸類	240	144	252	252	144	108
5d_OT無路名	240	144	252	252	144	108
5e_BR區塊道路	240	144	252	252	144	108
5f_其他道路	240	144	252	252	144	108

表 3-7 道路長度單價費用表

長度單價表 (元/KM)	
1a_HW國道	100
1b_HU國道附屬	100
1c_OE公務專用	60
2a_RE市區快速道路	100
2b_1E省道快速道路	100
3a_1W省道	60
3b_1U省道	60
4a_2W縣市道	60
4b_2U縣市道	60
4c_3W鄉道	60
4d_3U鄉道	60
4e_4W產業道路	60
4f_4U產業道路	60
5a_RD一般道路	50
5b_AL巷弄	50
5c_OR有路名無法歸類	50
5d_OT無路名	50
5e_BR區塊道路	50
5f_其他道路	50

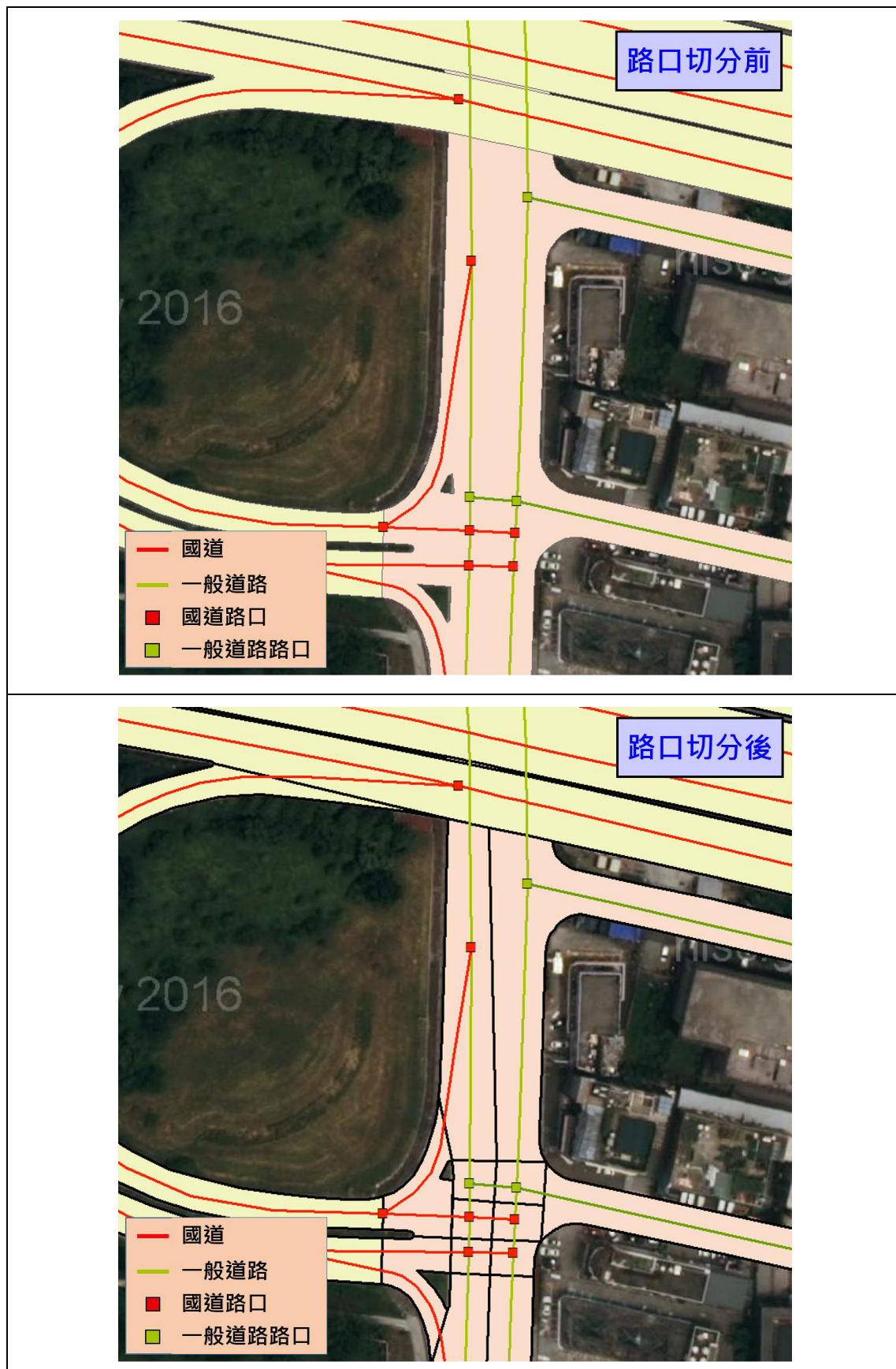


圖 3-25 國道路口切分處示意圖

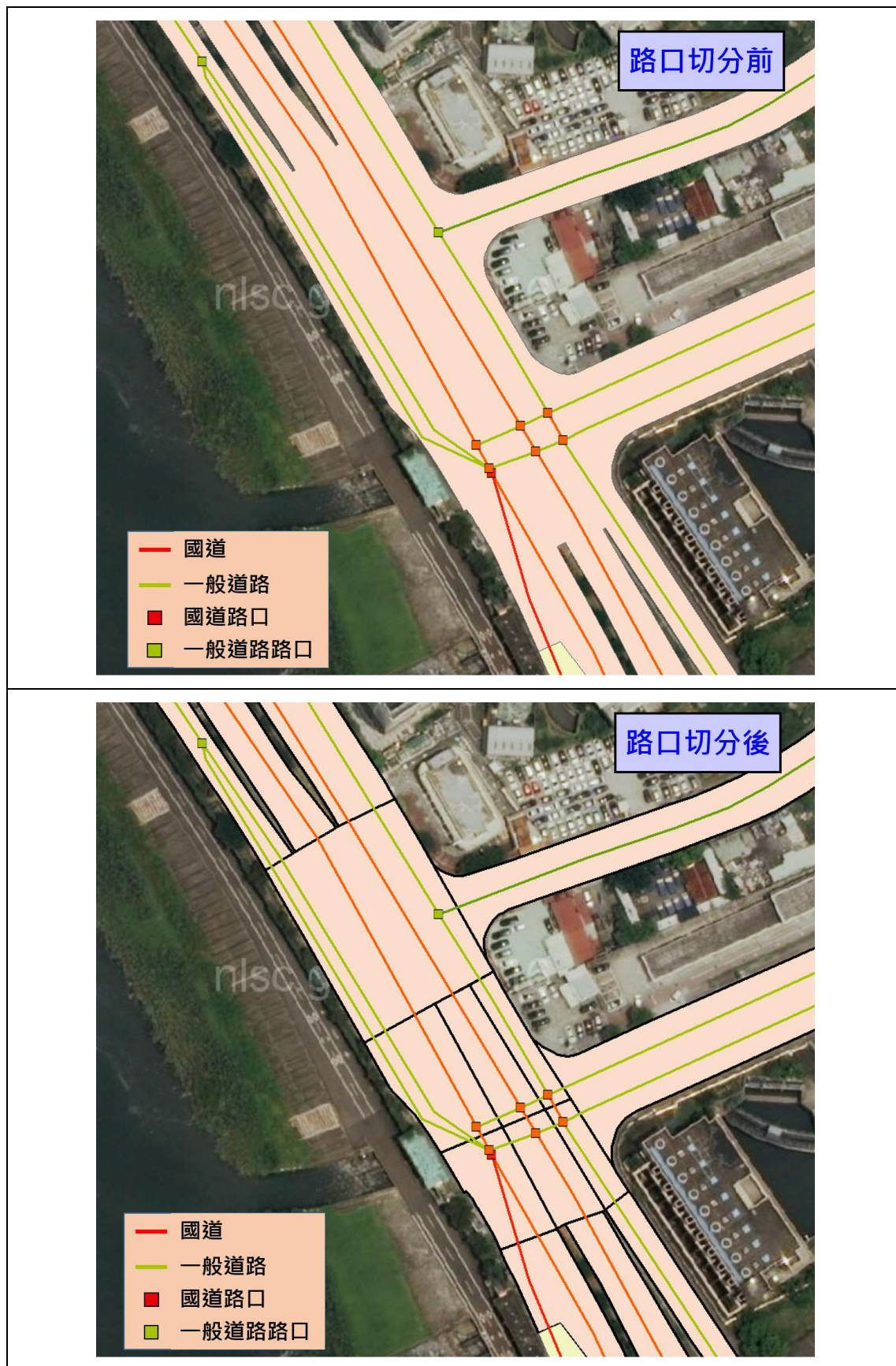


圖 3-26 快速道路路口切分處示意圖

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案

有路口處理單價以及長度處理單價後，即可依據去年電子地圖的成果，計算全臺灣各等級與各類型道路之長度以及路口數量，將這些數量乘上各項單價，即可推估總價並藉此評估各項不同的建置策略。整體成本分析表如表 3-8。從表中可以看到各等級以及各類型的道路其對應的長度、路口數、各別的單價以及總價。藉由這些資訊來擬訂不同的建置策略。

表 3-8 各道路等級與道路類型整體成本分析表

道路等級	道路類型	道路長度 (KM)	長度單價 (元)	長度總價 (元)	路口數量 (個)	路口單價 (元)	路口總價 (元)	總費用 (元)
1a_HW 國道	1_橋樑	21.95	100	2,195	208	1,800	374,400	376,595
1b_HU 國道附屬	1_橋樑	0.00	100	0	0	1,800	0	0
1c_OE 公務專用	1_橋樑	0.00	60	0	0	120	0	0
2a_RE 市區快速道路	1_橋樑	8.46	100	846	41	2,300	94,300	95,146
2b_1E 省道快速道路	1_橋樑	53.55	100	5,355	365	2,300	839,500	844,855
3a_1W 省道	1_橋樑	221.89	60	13,313	2,540	480	1,219,200	1,232,513
3b_1U 省道	1_橋樑	205.95	60	12,357	4,394	480	2,109,120	2,121,477
4a_2W 縣市道	1_橋樑	100.65	60	6,039	1,365	360	491,400	497,439
4b_2U 縣市道	1_橋樑	85.46	60	5,127	2,451	360	882,360	887,487
4c_3W 鄉道	1_橋樑	111.94	60	6,717	4,465	360	1,607,400	1,614,117
4d_3U 鄉道	1_橋樑	103.21	60	6,193	4,922	360	1,771,920	1,778,113
4e_4W 產業道路	1_橋樑	8.39	60	503	622	240	149,280	149,783
4f_4U 產業道路	1_橋樑	3.39	60	204	66	240	15,840	16,044
5a_RD 一般道路	1_橋樑	326.55	50	16,327	8,931	240	2,143,440	2,159,767
5b_AL 巷弄	1_橋樑	81.54	50	4,077	7,181	240	1,723,440	1,727,517
5c_OR 有路名無法歸類	1_橋樑	1.94	50	97	134	240	32,160	32,257
5d_OT 無路名	1_橋樑	377.97	50	18,899	23,203	240	5,568,720	5,587,619
5e_BR 區塊道路	1_橋樑	28.15	50	1,407	518	240	124,320	125,727
5f_其他道路	1_橋樑	0.00	50	0	0	240	0	0
1a_HW 國道	2_隧道	79.14	100	7,914	99	1,200	118,800	126,714
1b_HU 國道附屬	2_隧道	0.00	100	0	0	1,200	0	0
1c_OE 公務專用	2_隧道	0.15	60	9	4	120	480	489
2a_RE 市區快速道路	2_隧道	5.27	100	527	16	1,200	19,200	19,727
2b_1E 省道快速道路	2_隧道	32.93	100	3,293	72	1,200	86,400	89,693
3a_1W 省道	2_隧道	49.04	60	2,943	292	288	84,096	87,039
3b_1U 省道	2_隧道	18.37	60	1,102	168	288	48,384	49,486
4a_2W 縣市道	2_隧道	5.96	60	358	47	216	10,152	10,510
4b_2U 縣市道	2_隧道	1.38	60	83	16	216	3,456	3,539
4c_3W 鄉道	2_隧道	4.84	60	290	50	216	10,800	11,090
4d_3U 鄉道	2_隧道	2.18	60	131	29	216	6,264	6,395
4e_4W 產業道路	2_隧道	0.00	60	0	0	144	0	0
4f_4U 產業道路	2_隧道	0.00	60	0	0	144	0	0
5a_RD 一般道路	2_隧道	13.26	50	663	101	144	14,544	15,207
5b_AL 巷弄	2_隧道	1.45	50	72	23	144	3,312	3,384
5c_OR 有路名無法歸類	2_隧道	0.42	50	21	4	144	576	597

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案

道路等級	道路類型	道路長度 (KM)	長度單價 (元)	長度總價 (元)	路口數量 (個)	路口單價 (元)	路口總價 (元)	總費用 (元)
5d_OT 無路名	2_隧道	25.50	50	1,275	179	144	25,776	27,051
5e_BR 區塊道路	2_隧道	3.67	50	184	55	144	7,920	8,104
5f_其他道路	2_隧道	0.00	50	0	0	144	0	0
1a_HW 國道	3_匝道	0.00	100	0	0	2,200	0	0
1b_HU 國道附屬	3_匝道	792.18	100	79,218	2,000	2,200	4,400,000	4,479,218
1c_OE 公務專用	3_匝道	14.75	60	885	43	120	5,160	6,045
2a_RE 市區快速道路	3_匝道	64.92	100	6,492	298	2,700	804,600	811,092
2b_1E 省道快速道路	3_匝道	313.10	100	31,310	1,541	2,700	4,160,700	4,192,010
3a_1W 省道	3_匝道	8.63	60	518	37	504	18,648	19,166
3b_1U 省道	3_匝道	22.28	60	1,337	65	504	32,760	34,097
4a_2W 縣市道	3_匝道	8.63	60	518	26	378	9,828	10,346
4b_2U 縣市道	3_匝道	2.35	60	141	7	378	2,646	2,787
4c_3W 鄉道	3_匝道	0.00	60	0	0	378	0	0
4d_3U 鄉道	3_匝道	0.00	60	0	0	378	0	0
4e_4W 產業道路	3_匝道	0.00	60	0	0	252	0	0
4f_4U 產業道路	3_匝道	0.00	60	0	0	252	0	0
5a_RD 一般道路	3_匝道	19.86	50	993	44	252	11,088	12,081
5b_AL 巷弄	3_匝道	0.00	50	0	0	252	0	0
5c_OR 有路名無法歸類	3_匝道	0.00	50	0	0	252	0	0
5d_OT 無路名	3_匝道	0.91	50	46	0	252	0	46
5e_BR 區塊道路	3_匝道	0.00	50	0	0	252	0	0
5f_其他道路	3_匝道	0.00	50	0	0	252	0	0
1a_HW 國道	4_高架	1,385.75	100	138,575	981	2,500	2,452,500	2,591,075
1b_HU 國道附屬	4_高架	3.06	100	306	5	2,500	12,500	12,806
1c_OE 公務專用	4_高架	0.52	60	31	3	120	360	391
2a_RE 市區快速道路	4_高架	125.65	100	12,565	77	3,000	231,000	243,565
2b_1E 省道快速道路	4_高架	976.31	100	97,631	185	3,000	555,000	652,631
3a_1W 省道	4_高架	87.97	60	5,278	126	504	63,504	68,782
3b_1U 省道	4_高架	17.85	60	1,071	41	504	20,664	21,735
4a_2W 縣市道	4_高架	16.94	60	1,016	23	378	8,694	9,710
4b_2U 縣市道	4_高架	6.54	60	393	41	378	15,498	15,891
4c_3W 鄉道	4_高架	3.51	60	211	22	378	8,316	8,527
4d_3U 鄉道	4_高架	4.37	60	262	42	378	15,876	16,138
4e_4W 產業道路	4_高架	0.00	60	0	0	252	0	0
4f_4U 產業道路	4_高架	0.00	60	0	0	252	0	0
5a_RD 一般道路	4_高架	73.14	50	3,657	150	252	37,800	41,457
5b_AL 巷弄	4_高架	0.39	50	20	10	252	2,520	2,540
5c_OR 有路名無法歸類	4_高架	0.00	50	0	0	252	0	0
5d_OT 無路名	4_高架	23.60	50	1,180	59	252	14,868	16,048
5e_BR 區塊道路	4_高架	0.36	50	18	6	252	1,512	1,530
5f_其他道路	4_高架	0.00	50	0	0	252	0	0
1a_HW 國道	6_地下道	0.00	100	0	0	1,000	0	0
1b_HU 國道附屬	6_地下道	0.00	100	0	0	1,000	0	0
1c_OE 公務專用	6_地下道	0.00	60	0	0	120	0	0

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案

道路等級	道路類型	道路長度 (KM)	長度單價 (元)	長度總價 (元)	路口數量 (個)	路口單價 (元)	路口總價 (元)	總費用 (元)
2a_RE 市區快速道路	6_地下道	0.89	100	89	4	1,500	6,000	6,089
2b_1E 省道快速道路	6_地下道	1.66	100	166	0	1,500	0	166
3a_1W 省道	6_地下道	0.00	60	0	0	288	0	0
3b_1U 省道	6_地下道	12.10	60	726	59	288	16,992	17,718
4a_2W 縣市道	6_地下道	0.00	60	0	0	216	0	0
4b_2U 縣市道	6_地下道	5.83	60	350	36	216	7,776	8,126
4c_3W 鄉道	6_地下道	0.34	60	20	7	216	1,512	1,532
4d_3U 鄉道	6_地下道	3.46	60	208	13	216	2,808	3,016
4e_4W 產業道路	6_地下道	0.00	60	0	0	144	0	0
4f_4U 產業道路	6_地下道	0.00	60	0	0	144	0	0
5a_RD 一般道路	6_地下道	36.55	50	1,827	150	144	21,600	23,427
5b_AL 巷弄	6_地下道	0.39	50	20	4	144	576	596
5c_OR 有路名無法歸類	6_地下道	0.00	50	0	0	144	0	0
5d_OT 無路名	6_地下道	2.77	50	139	14	144	2,016	2,155
5e_BR 區塊道路	6_地下道	0.07	50	3	2	144	288	291
5f_其他道路	6_地下道	0.00	50	0	0	144	0	0
1a_HW 國道	7_平面道路	610.09	100	61,009	273	1,000	273,000	334,009
1b_HU 國道附屬	7_平面道路	40.11	100	4,011	302	1,000	302,000	306,011
1c_OE 公務專用	7_平面道路	54.23	60	3,254	207	120	24,840	28,094
2a_RE 市區快速道路	7_平面道路	109.70	100	10,970	536	2,000	1,072,000	1,082,970
2b_1E 省道快速道路	7_平面道路	273.49	100	27,349	416	2,000	832,000	859,349
3a_1W 省道	7_平面道路	1,794.05	60	107,643	8,288	216	1,790,208	1,897,851
3b_1U 省道	7_平面道路	4,634.96	60	278,098	30,203	216	6,523,848	6,801,946
4a_2W 縣市道	7_平面道路	1,366.18	60	81,971	7,903	162	1,280,286	1,362,257
4b_2U 縣市道	7_平面道路	2,826.92	60	169,615	22,730	162	3,682,260	3,851,875
4c_3W 鄉道	7_平面道路	4,807.08	60	288,425	30,795	162	4,988,790	5,277,215
4d_3U 鄉道	7_平面道路	6,210.14	60	372,608	52,664	162	8,531,568	8,904,176
4e_4W 產業道路	7_平面道路	1,133.35	60	68,001	3,865	108	417,420	485,421
4f_4U 產業道路	7_平面道路	94.06	60	5,644	380	108	41,040	46,684
5a_RD 一般道路	7_平面道路	22,863.45	50	1,143,172	187,216	108	20,219,328	21,362,500
5b_AL 巷弄	7_平面道路	27,041.92	50	1,352,096	155,451	108	16,788,708	18,140,804
5c_OR 有路名無法歸類	7_平面道路	920.27	50	46,014	606	108	65,448	111,462
5d_OT 無路名	7_平面道路	77,390.82	50	3,869,541	7,491	108	809,028	4,678,569
5e_BR 區塊道路	7_平面道路	7,617.57	50	380,878	27,032	108	2,919,456	3,300,334
5f_其他道路	7_平面道路	0.00	50	0	13	108	1,404	1,404

影響模型建置成本的主要因素有兩項，一項是道路長度，另一項則是路口數量，由於三維道路模型由二維的臺灣通用電子地圖道路面而來，其道路面為整塊面狀的連續面，並未於二維道路中線節點交接處分割（節點交接處通常是路口），如圖 3-24 及 3-25，所以建置三維道路模型時，需先於中線節點交接處分割進行切分，此項切分的處理目前為半自動化處理，先使用程式自動分割，之後再進行人工編修，

因此這路口切分的成本較高。若是未來自動化程度提升，則處理成本有望下降。若三維道路模型於道路中線節點交接處不分割，則整體的建置成本大幅降低，但該三維道路模型將會是整塊的連續模型，於模型展示上的差異不大，可是未分割的三維道路模型無法一對一對應道路中線屬性，可能影響後續三維道路模型分析應用。從另外的角度思考，也可以將建置成本外部化，例如結合不同的工作案完成道路面的切分，如電子地圖建置時，針對原有整塊連續的道路面，直接針對道路中線節點進行切分，後續即可利用切分好的道路面直接建置三維道路模型。

由於表 3-8 的項目眾多，因此配合不同的建置策略，將各項目彙整，並依據每年的執行項目統計道路長度、路口數量以及整體費用，如表 3-9 以及 3-10。規劃全臺建置策略時，依據實務經驗以及成本考量，區塊道路因為利用性較低，因此建議暫時不建置，另外無路名道路之間對於分析功能需求較低，因此無路名道路之路口也建議暫時不切分。

考量高等級道路（國道、快速道路、省道、縣道、鄉道）貫穿區域廣泛且多用來聯繫人口稠密區間的交通，建議優先建置高等級道路。而一般道路（鄉道以下各級道路，包含市區道路及其他道路）主要偏重於單一區域的交通聯繫，道路總長度較長且路口數量龐大，依據分析成果，其建置總經費可觀。所以擬訂二種不同的策略，策略一為依據道路等級逐年執行，如表 3-9，優先建置高等級道路，建置完成後再建置一般道路。策略二為混合道路等級與縣市執行，國道、快速道路以及省道為全臺灣整體建置，縣道以下的道路（縣道、鄉道及一般道路）則依照縣市逐年執行，如表 3-10。若是受限於整體經費的考量，也可以優先挑選高等級的道路（國道、快速道路、省道）執行路口切分，其餘等級的道路則利用不同的機會陸續完成。

表 3-9 策略一逐年成本費用分析表

策略一 依據道路等級執行	年度	道路長度 (KM)	路口數量 (個)	長度總價 (元)	路口總價 (元)	固定費用 (元)	總費用 (元)
國+快	109	4,968	7,676	1,326,331	16,664,740	400,000	18,391,071
省+縣+鄉	110	22,751	173,867	912,529	35,267,034	400,000	36,579,563
路街+產	111	24,572	201,525	737,160	23,071,380	400,000	24,208,540
巷弄+無路名	112	105,870	194,372	3,176,097	25,038,552	400,000	28,614,649
區塊道路	other	7,650	27,613	382,491	3,053,496	400,000	3,835,987

表 3-10 策略二逐年成本費用分析表

策略二 混合道路等級+縣市執行	年度	道路長度 (KM)	路口數量 (個)	長度總價 (元)	路口總價 (元)	固定費用 (元)	總費用 (元)
國+快+臺北	109	8,081	31,139	1,422,665	19,425,238	400,000	21,247,903
省+新北+桃園	110	23,795	131,129	867,550	22,974,102	400,000	24,241,652
臺中+臺南+高雄	111	40,748	166,156	1,238,401	21,291,360	400,000	22,929,761
其餘縣市	112	85,537	249,016	2,623,502	36,351,006	400,000	39,374,508
區塊道路	other	7,650	27,613	382,491	3,053,496	400,000	3,835,987

由於影響全臺三維道路模型建置之因素眾多，除本案擬訂的兩項策略外，也可能因為有不同的因素考量，所以需調整整體策略，因此也特別針對各縣市提供整體成本分析表，如表 3-11，也提供各縣市各等級道路的整體成本分析表，如表 3-12，以利因應未來策略之調整。由於離島縣市(澎湖、金門、馬祖)的 DEM 資料更新不穩定，且整體數量較少，因此本案進行成本分析時皆暫時排除離島縣市之部分。

表 3-11 各縣市整體成本分析表

縣市	道路長度 (KM)	路口數量 (個)	長度總價 (元)	路口總價 (元)	總費用 (元)
臺北市	3,512.33	24,596	191,057.08	4,112,774	4,331,939
臺中市	13,980.45	64,833	740,086.07	9,835,314	10,654,214
基隆市	891.88	4,173	51,135.37	948,320	1,004,520
臺南市	18,737.01	58,921	991,094.81	10,166,254	11,235,007
高雄市	14,318.82	67,933	747,061.18	9,646,932	10,476,245
新北市	9,951.95	45,145	543,279.70	8,503,468	9,101,845
宜蘭縣	5,475.14	21,963	287,879.70	3,347,112	3,662,430
桃園市	10,505.16	55,359	563,817.24	8,883,522	9,513,203
嘉義市	914.37	6,077	47,403.27	772,748	827,143
新竹縣	5,891.57	19,813	314,699.82	3,661,888	4,002,292
苗栗縣	8,712.07	24,245	470,567.88	5,347,064	5,850,589
南投縣	10,982.37	30,426	575,056.87	5,313,026	5,929,491
彰化縣	11,432.58	53,880	606,649.21	8,865,226	9,537,188
新竹市	1,394.83	8,611	76,051.39	1,802,784	1,888,841
雲林縣	11,792.52	28,847	625,900.94	6,387,640	7,054,180
嘉義縣	11,957.37	21,242	630,007.24	4,606,022	5,269,229
屏東縣	11,485.66	37,751	598,949.03	5,695,304	6,343,490
花蓮縣	7,132.44	17,952	367,229.61	3,039,144	3,431,458
臺東縣	6,742.06	13,286	348,112.54	2,160,660	2,528,801

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案

表 3-12 各縣市各道路等級整體成本分析表

道路等級	縣市	道路長度 (KM)	路口數量 (個)	長度總價 (元)	路口總價 (元)	總費用 (元)
1a_HW 國道	臺北市	81.19	76	8,119	161,400	169,676
1b_HU 國道附屬	臺北市	32.34	85	3,234	187,000	190,352
1c_OE 公務專用	臺北市	0.00	0	0	0	0
2a_RE 市區快速道路	臺北市	158.31	375	15,831	937,900	954,265
2b_1E 省道快速道路	臺北市	0.00	0	0	0	0
3a_1W 省道	臺北市	9.84	24	590	11,832	12,456
3b_1U 省道	臺北市	121.43	1030	7,286	235,296	243,733
4a_2W 縣市道	臺北市	3.66	11	219	4,014	4,248
4b_2U 縣市道	臺北市	11.72	89	703	14,814	15,618
4c_3W 鄉道	臺北市	1.08	1	65	162	229
4d_3U 鄉道	臺北市	5.02	61	301	10,476	10,843
4e_4W 產業道路	臺北市	32.12	96	1,927	11,160	13,215
4f_4U 產業道路	臺北市	0.00	0	0	0	0
5a_RD 一般道路	臺北市	1,169.90	11214	58,495	1,253,472	1,324,351
5b_AL 巷弄	臺北市	1,487.39	10824	74,370	1,196,172	1,282,853
5c_OR 有路名無法歸類	臺北市	0.00	0	0	0	0
5d_OT 無路名	臺北市	271.21	113	13,561	23,100	37,045
5e_BR 區塊道路	臺北市	127.12	597	6,356	65,976	73,056
5f_其他道路	臺北市	0.00	0	0	0	0
1a_HW 國道	臺中市	202.44	111	20,244	277,500	298,057
1b_HU 國道附屬	臺中市	106.09	275	10,609	544,700	555,690
1c_OE 公務專用	臺中市	6.44	14	386	1,680	2,087
2a_RE 市區快速道路	臺中市	0.00	0	0	0	0
2b_1E 省道快速道路	臺中市	172.65	184	17,265	493,600	511,222
3a_1W 省道	臺中市	47.72	113	2,863	36,648	39,672
3b_1U 省道	臺中市	590.38	3784	35,423	945,480	985,277
4a_2W 縣市道	臺中市	8.99	56	540	13,140	13,745
4b_2U 縣市道	臺中市	157.14	1649	9,428	302,364	313,598
4c_3W 鄉道	臺中市	33.71	203	2,023	40,410	42,669
4d_3U 鄉道	臺中市	702.46	6760	42,148	1,195,920	1,245,530
4e_4W 產業道路	臺中市	137.07	651	8,224	83,640	92,652
4f_4U 產業道路	臺中市	16.59	97	995	11,796	12,905
5a_RD 一般道路	臺中市	3,340.01	26526	167,001	3,030,420	3,227,287
5b_AL 巷弄	臺中市	3,246.41	20200	162,321	2,288,592	2,474,359
5c_OR 有路名無法歸類	臺中市	94.11	71	4,705	10,188	15,059
5d_OT 無路名	臺中市	4,329.01	1102	216,450	227,016	448,897
5e_BR 區塊道路	臺中市	789.23	3037	39,461	332,220	375,508

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案

道路等級	縣市	道路長度 (KM)	路口數量 (個)	長度總價 (元)	路口總價 (元)	總費用 (元)
5f_其他道路	臺中市	0.00	0	0	0	0
1a_HW 國道	基隆市	34.37	51	3,437	91,300	94,823
1b_HU 國道附屬	基隆市	20.55	50	2,055	110,000	112,126
1c_OE 公務專用	基隆市	0.93	3	56	360	419
2a_RE 市區快速道路	基隆市	2.09	4	209	12,000	12,215
2b_1E 省道快速道路	基隆市	45.32	87	4,532	186,800	191,464
3a_1W 省道	基隆市	13.94	35	836	13,344	14,229
3b_1U 省道	基隆市	55.08	375	3,305	100,416	104,151
4a_2W 縣市道	基隆市	0.09	4	5	1,044	1,053
4b_2U 縣市道	基隆市	9.03	85	542	15,156	15,792
4c_3W 鄉道	基隆市	0.00	0	0	0	0
4d_3U 鄉道	基隆市	0.00	0	0	0	0
4e_4W 產業道路	基隆市	63.41	190	3,805	26,064	30,122
4f_4U 產業道路	基隆市	0.00	0	0	0	0
5a_RD 一般道路	基隆市	208.91	1619	10,445	194,208	206,481
5b_AL 巷弄	基隆市	189.65	1278	9,483	142,788	153,738
5c_OR 有路名無法歸類	基隆市	0.00	0	0	0	0
5d_OT 無路名	基隆市	171.67	115	8,583	24,780	33,650
5e_BR 區塊道路	基隆市	76.85	277	3,842	30,060	34,256
5f_其他道路	基隆市	0.00	0	0	0	0
1a_HW 國道	臺南市	278.87	159	27,887	377,900	406,225
1b_HU 國道附屬	臺南市	107.22	315	10,722	599,400	610,544
1c_OE 公務專用	臺南市	12.06	48	724	5,760	6,544
2a_RE 市區快速道路	臺南市	0.00	0	0	0	0
2b_1E 省道快速道路	臺南市	215.45	318	21,545	798,500	820,578
3a_1W 省道	臺南市	304.70	2071	18,282	527,472	548,130
3b_1U 省道	臺南市	304.50	2406	18,270	578,040	599,021
4a_2W 縣市道	臺南市	261.22	1798	15,673	337,158	354,890
4b_2U 縣市道	臺南市	215.48	2039	12,929	344,034	359,217
4c_3W 鄉道	臺南市	1,012.96	8717	60,777	1,576,692	1,647,199
4d_3U 鄉道	臺南市	239.59	2177	14,376	380,790	397,582
4e_4W 產業道路	臺南市	66.20	478	3,972	61,656	66,172
4f_4U 產業道路	臺南市	0.00	0	0	0	0
5a_RD 一般道路	臺南市	1,932.21	17687	96,611	1,952,808	2,069,038
5b_AL 巷弄	臺南市	2,156.33	14173	107,816	1,551,804	1,675,950
5c_OR 有路名無法歸類	臺南市	3.97	22	199	3,960	4,185
5d_OT 無路名	臺南市	10,819.77	3924	540,988	780,504	1,336,236
5e_BR 區塊道路	臺南市	806.48	2588	40,324	289,668	333,387

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案

道路等級	縣市	道路長度 (KM)	路口數量 (個)	長度總價 (元)	路口總價 (元)	總費用 (元)
5f_其他道路	臺南市	0.00	1	0	108	109
1a_HW 國道	高雄市	166.34	111	16,634	256,600	273,511
1b_HU 國道附屬	高雄市	77.00	161	7,700	354,200	362,138
1c_OE 公務專用	高雄市	4.13	14	248	1,680	1,946
2a_RE 市區快速道路	高雄市	17.04	30	1,704	82,800	84,551
2b_1E 省道快速道路	高雄市	29.31	24	2,931	64,800	67,784
3a_1W 省道	高雄市	104.86	630	6,291	176,760	183,786
3b_1U 省道	高雄市	632.60	4544	37,956	1,111,056	1,154,188
4a_2W 縣市道	高雄市	22.28	97	1,337	20,772	22,228
4b_2U 縣市道	高雄市	133.59	1158	8,015	203,040	212,347
4c_3W 鄉道	高雄市	131.53	1095	7,892	208,476	217,594
4d_3U 鄉道	高雄市	587.71	5815	35,263	1,026,936	1,068,601
4e_4W 產業道路	高雄市	44.30	146	2,658	16,824	19,673
4f_4U 產業道路	高雄市	2.56	11	153	1,188	1,355
5a_RD 一般道路	高雄市	2,742.93	27488	137,147	3,060,564	3,227,942
5b_AL 巷弄	高雄市	3,189.25	19784	159,462	2,210,232	2,392,668
5c_OR 有路名無法歸類	高雄市	112.25	63	5,613	7,860	13,648
5d_OT 無路名	高雄市	5,007.94	2161	250,397	341,712	599,278
5e_BR 區塊道路	高雄市	1,313.20	4594	65,660	500,676	572,243
5f_其他道路	高雄市	0.00	7	0	756	763
1a_HW 國道	新北市	199.98	151	19,998	307,400	327,749
1b_HU 國道附屬	新北市	79.62	183	7,962	391,800	400,025
1c_OE 公務專用	新北市	10.30	35	618	4,200	4,864
2a_RE 市區快速道路	新北市	112.15	447	11,215	948,800	960,575
2b_1E 省道快速道路	新北市	166.98	226	16,698	587,100	604,191
3a_1W 省道	新北市	142.11	691	8,527	218,304	227,664
3b_1U 省道	新北市	354.21	2452	21,253	630,816	654,875
4a_2W 縣市道	新北市	58.22	187	3,493	44,604	48,342
4b_2U 縣市道	新北市	348.54	2971	20,912	538,650	562,882
4c_3W 鄉道	新北市	237.36	1155	14,242	219,546	235,180
4d_3U 鄉道	新北市	496.93	3887	29,816	688,032	722,232
4e_4W 產業道路	新北市	126.83	469	7,610	61,080	69,286
4f_4U 產業道路	新北市	0.00	0	0	0	0
5a_RD 一般道路	新北市	1,894.42	14737	94,721	1,699,260	1,810,613
5b_AL 巷弄	新北市	1,982.27	13219	99,114	1,475,580	1,589,895
5c_OR 有路名無法歸類	新北市	17.89	14	894	2,568	3,494
5d_OT 無路名	新北市	3,137.04	1943	156,852	422,340	584,272
5e_BR 區塊道路	新北市	587.06	2378	29,353	263,388	295,706

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案

道路等級	縣市	道路長度 (KM)	路口數量 (個)	長度總價 (元)	路口總價 (元)	總費用 (元)
5f_其他道路	新北市	0.00	0	0	0	0
1a_HW 國道	宜蘭縣	58.33	18	5,833	40,900	46,809
1b_HU 國道附屬	宜蘭縣	20.07	56	2,007	123,200	125,283
1c_OE 公務專用	宜蘭縣	7.08	28	425	3,360	3,820
2a_RE 市區快速道路	宜蘭縣	0.00	0	0	0	0
2b_1E 省道快速道路	宜蘭縣	0.00	0	0	0	0
3a_1W 省道	宜蘭縣	54.90	76	3,294	25,728	29,153
3b_1U 省道	宜蘭縣	404.97	2442	24,298	619,056	646,201
4a_2W 縣市道	宜蘭縣	47.19	226	2,831	41,166	44,270
4b_2U 縣市道	宜蘭縣	87.82	746	5,269	131,850	137,953
4c_3W 鄉道	宜蘭縣	22.62	106	1,357	23,814	25,300
4d_3U 鄉道	宜蘭縣	351.53	3099	21,092	557,082	581,624
4e_4W 產業道路	宜蘭縣	44.17	81	2,650	9,012	11,787
4f_4U 產業道路	宜蘭縣	0.00	0	0	0	0
5a_RD 一般道路	宜蘭縣	1,408.50	9160	70,425	1,062,672	1,143,666
5b_AL 巷弄	宜蘭縣	1,025.22	4796	51,261	541,200	598,282
5c_OR 有路名無法歸類	宜蘭縣	28.97	24	1,449	3,912	5,414
5d_OT 無路名	宜蘭縣	1,732.28	476	86,614	94,380	183,202
5e_BR 區塊道路	宜蘭縣	181.50	629	9,075	69,780	79,665
5f_其他道路	宜蘭縣	0.00	0	0	0	0
1a_HW 國道	桃園市	207.36	134	20,736	218,100	239,177
1b_HU 國道附屬	桃園市	85.83	218	8,583	460,400	469,287
1c_OE 公務專用	桃園市	5.16	23	310	2,760	3,098
2a_RE 市區快速道路	桃園市	0.00	0	0	0	0
2b_1E 省道快速道路	桃園市	185.09	300	18,509	732,400	751,394
3a_1W 省道	桃園市	61.95	219	3,717	64,176	68,174
3b_1U 省道	桃園市	386.35	3419	23,181	857,808	884,795
4a_2W 縣市道	桃園市	1.14	5	68	1,206	1,280
4b_2U 縣市道	桃園市	334.83	3084	20,090	555,102	578,611
4c_3W 鄉道	桃園市	63.63	415	3,818	76,932	81,228
4d_3U 鄉道	桃園市	597.92	5976	35,875	1,066,230	1,108,679
4e_4W 產業道路	桃園市	13.55	90	813	11,436	12,353
4f_4U 產業道路	桃園市	0.00	0	0	0	0
5a_RD 一般道路	桃園市	2,053.29	18421	102,664	2,101,980	2,225,119
5b_AL 巷弄	桃園市	2,663.64	17737	133,182	2,023,848	2,177,431
5c_OR 有路名無法歸類	桃園市	4.05	3	202	324	533
5d_OT 無路名	桃園市	2,821.89	1657	141,095	305,088	450,662
5e_BR 區塊道路	桃園市	1,019.48	3658	50,974	405,732	461,384

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案

道路等級	縣市	道路長度 (KM)	路口數量 (個)	長度總價 (元)	路口總價 (元)	總費用 (元)
5f_其他道路	桃園市	0.00	0	0	0	0
1a_HW 國道	嘉義市	11.25	6	1,125	9,800	10,942
1b_HU 國道附屬	嘉義市	5.05	12	505	26,400	26,922
1c_OE 公務專用	嘉義市	0.00	0	0	0	0
2a_RE 市區快速道路	嘉義市	0.00	0	0	0	0
2b_1E 省道快速道路	嘉義市	0.00	0	0	0	0
3a_1W 省道	嘉義市	0.00	0	0	0	0
3b_1U 省道	嘉義市	54.56	379	3,273	85,296	89,003
4a_2W 縣市道	嘉義市	0.02	1	1	162	164
4b_2U 縣市道	嘉義市	30.89	337	1,853	56,970	59,191
4c_3W 鄉道	嘉義市	0.00	0	0	0	0
4d_3U 鄉道	嘉義市	1.50	22	90	3,564	3,677
4e_4W 產業道路	嘉義市	0.00	0	0	0	0
4f_4U 產業道路	嘉義市	0.00	0	0	0	0
5a_RD 一般道路	嘉義市	361.16	3418	18,058	378,012	399,849
5b_AL 巷弄	嘉義市	232.27	1635	11,614	180,276	193,757
5c_OR 有路名無法歸類	嘉義市	0.00	0	0	0	0
5d_OT 無路名	嘉義市	173.65	67	8,683	10,272	19,195
5e_BR 區塊道路	嘉義市	44.02	200	2,201	21,996	24,441
5f_其他道路	嘉義市	0.00	0	0	0	0
1a_HW 國道	新竹縣	109.61	70	10,961	109,400	120,541
1b_HU 國道附屬	新竹縣	41.67	159	4,167	267,600	271,968
1c_OE 公務專用	新竹縣	0.00	0	0	0	0
2a_RE 市區快速道路	新竹縣	0.00	0	0	0	0
2b_1E 省道快速道路	新竹縣	73.21	149	7,321	345,500	353,043
3a_1W 省道	新竹縣	36.23	265	2,174	72,552	75,027
3b_1U 省道	新竹縣	78.00	615	4,680	157,416	162,789
4a_2W 縣市道	新竹縣	74.69	448	4,481	90,702	95,706
4b_2U 縣市道	新竹縣	133.01	1248	7,980	230,472	239,833
4c_3W 鄉道	新竹縣	318.83	1677	19,130	334,620	355,745
4d_3U 鄉道	新竹縣	216.92	1970	13,015	365,022	380,224
4e_4W 產業道路	新竹縣	32.02	117	1,921	13,956	16,026
4f_4U 產業道路	新竹縣	0.00	0	0	0	0
5a_RD 一般道路	新竹縣	766.06	5615	38,303	656,568	701,252
5b_AL 巷弄	新竹縣	802.28	4385	40,114	512,676	557,977
5c_OR 有路名無法歸類	新竹縣	38.70	31	1,935	5,460	7,465
5d_OT 無路名	新竹縣	2,785.04	1626	139,252	339,132	482,795
5e_BR 區塊道路	新竹縣	385.32	1438	19,266	160,812	181,901

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案

道路等級	縣市	道路長度 (KM)	路口數量 (個)	長度總價 (元)	路口總價 (元)	總費用 (元)
5f_其他道路	新竹縣	0.00	0	0	0	0
1a_HW 國道	苗栗縣	192.31	165	19,231	343,500	363,088
1b_HU 國道附屬	苗栗縣	39.38	156	3,938	318,000	322,134
1c_OE 公務專用	苗栗縣	4.01	12	241	1,440	1,697
2a_RE 市區快速道路	苗栗縣	0.00	0	0	0	0
2b_1E 省道快速道路	苗栗縣	181.42	303	18,142	782,000	800,626
3a_1W 省道	苗栗縣	168.30	1246	10,098	338,304	349,817
3b_1U 省道	苗栗縣	160.53	1178	9,632	298,200	309,170
4a_2W 縣市道	苗栗縣	195.83	1368	11,750	262,332	275,645
4b_2U 縣市道	苗栗縣	51.18	482	3,071	83,448	87,052
4c_3W 鄉道	苗栗縣	585.63	4188	35,138	798,156	838,067
4d_3U 鄉道	苗栗縣	148.05	1489	8,883	269,028	279,548
4e_4W 產業道路	苗栗縣	117.36	660	7,041	85,800	93,619
4f_4U 產業道路	苗栗縣	0.00	0	0	0	0
5a_RD 一般道路	苗栗縣	820.58	6584	41,029	765,180	813,613
5b_AL 巷弄	苗栗縣	352.19	2528	17,610	285,432	305,922
5c_OR 有路名無法歸類	苗栗縣	30.39	18	1,520	2,340	3,908
5d_OT 無路名	苗栗縣	5,377.73	2796	268,887	596,676	873,736
5e_BR 區塊道路	苗栗縣	287.18	1072	14,359	117,228	132,946
5f_其他道路	苗栗縣	0.00	0	0	0	0
1a_HW 國道	南投縣	134.85	139	13,485	296,100	309,859
1b_HU 國道附屬	南投縣	47.65	128	4,765	275,600	280,541
1c_OE 公務專用	南投縣	9.13	41	548	4,920	5,518
2a_RE 市區快速道路	南投縣	0.00	0	0	0	0
2b_1E 省道快速道路	南投縣	4.76	2	476	2,400	2,883
3a_1W 省道	南投縣	72.37	175	4,342	55,344	59,933
3b_1U 省道	南投縣	470.85	2832	28,251	746,688	778,242
4a_2W 縣市道	南投縣	17.77	86	1,066	17,604	18,774
4b_2U 縣市道	南投縣	173.78	1386	10,427	277,722	289,709
4c_3W 鄉道	南投縣	144.03	480	8,642	97,164	106,430
4d_3U 鄉道	南投縣	557.96	3900	33,478	748,620	786,556
4e_4W 產業道路	南投縣	161.12	485	9,667	62,016	72,329
4f_4U 產業道路	南投縣	50.51	249	3,030	31,908	35,238
5a_RD 一般道路	南投縣	762.71	6105	38,136	733,344	778,347
5b_AL 巷弄	南投縣	2,569.08	11761	128,454	1,457,304	1,600,088
5c_OR 有路名無法歸類	南投縣	267.94	249	13,397	31,248	45,162
5d_OT 無路名	南投縣	5,304.68	1760	265,234	400,560	672,859
5e_BR 區塊道路	南投縣	233.17	648	11,659	74,484	87,024

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案

道路等級	縣市	道路長度 (KM)	路口數量 (個)	長度總價 (元)	路口總價 (元)	總費用 (元)
5f_其他道路	南投縣	0.00	0	0	0	0
1a_HW 國道	彰化縣	104.35	53	10,435	104,300	114,892
1b_HU 國道附屬	彰化縣	53.03	112	5,303	246,400	251,868
1c_OE 公務專用	彰化縣	2.59	8	155	960	1,126
2a_RE 市區快速道路	彰化縣	23.74	108	2,374	224,000	226,506
2b_1E 省道快速道路	彰化縣	151.49	160	15,149	424,700	440,160
3a_1W 省道	彰化縣	52.55	194	3,153	59,520	62,919
3b_1U 省道	彰化縣	293.04	2419	17,582	633,912	654,206
4a_2W 縣市道	彰化縣	9.91	54	594	12,510	13,168
4b_2U 縣市道	彰化縣	416.93	3727	25,016	681,732	710,892
4c_3W 鄉道	彰化縣	99.38	769	5,963	148,140	154,971
4d_3U 鄉道	彰化縣	964.13	9629	57,848	1,731,564	1,800,005
4e_4W 產業道路	彰化縣	0.44	0	27	0	27
4f_4U 產業道路	彰化縣	0.00	0	0	0	0
5a_RD 一般道路	彰化縣	1,584.77	13764	79,238	1,665,036	1,759,623
5b_AL 巷弄	彰化縣	3,709.33	20154	185,466	2,403,216	2,612,546
5c_OR 有路名無法歸類	彰化縣	0.00	0	0	0	0
5d_OT 無路名	彰化縣	3,749.98	1914	187,499	438,576	631,739
5e_BR 區塊道路	彰化縣	216.93	815	10,846	90,660	102,538
5f_其他道路	彰化縣	0.00	0	0	0	0
1a_HW 國道	新竹市	24.58	34	2,458	74,500	77,017
1b_HU 國道附屬	新竹市	18.37	84	1,837	184,800	186,739
1c_OE 公務專用	新竹市	0.13	0	8	0	8
2a_RE 市區快速道路	新竹市	1.54	8	154	21,600	21,764
2b_1E 省道快速道路	新竹市	64.25	197	6,425	475,400	482,087
3a_1W 省道	新竹市	0.00	0	0	0	0
3b_1U 省道	新竹市	37.98	322	2,279	86,184	88,823
4a_2W 縣市道	新竹市	7.45	20	447	7,326	7,800
4b_2U 縣市道	新竹市	38.15	387	2,289	69,318	72,032
4c_3W 鄉道	新竹市	0.00	0	0	0	0
4d_3U 鄉道	新竹市	3.58	26	215	5,004	5,248
4e_4W 產業道路	新竹市	0.00	0	0	0	0
4f_4U 產業道路	新竹市	0.00	0	0	0	0
5a_RD 一般道路	新竹市	422.89	3649	21,145	429,408	454,625
5b_AL 巷弄	新竹市	441.64	3104	22,082	354,000	379,628
5c_OR 有路名無法歸類	新竹市	0.00	0	0	0	0
5d_OT 無路名	新竹市	195.70	123	9,785	24,024	34,128
5e_BR 區塊道路	新竹市	138.57	657	6,929	71,220	78,944

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案

道路等級	縣市	道路長度 (KM)	路口數量 (個)	長度總價 (元)	路口總價 (元)	總費用 (元)
5f_其他道路	新竹市	0.00	0	0	0	0
1a_HW 國道	雲林縣	97.10	189	9,710	337,400	347,397
1b_HU 國道附屬	雲林縣	45.21	157	4,521	281,800	286,523
1c_OE 公務專用	雲林縣	5.33	18	320	2,160	2,503
2a_RE 市區快速道路	雲林縣	0.00	0	0	0	0
2b_1E 省道快速道路	雲林縣	205.83	409	20,583	1,041,100	1,062,297
3a_1W 省道	雲林縣	120.69	741	7,241	202,656	210,759
3b_1U 省道	雲林縣	129.49	979	7,769	253,944	262,822
4a_2W 縣市道	雲林縣	221.26	1439	13,276	269,910	284,846
4b_2U 縣市道	雲林縣	248.25	2021	14,895	371,160	388,325
4c_3W 鄉道	雲林縣	728.89	6034	43,734	1,123,848	1,174,345
4d_3U 鄉道	雲林縣	431.59	3827	25,895	691,038	721,192
4e_4W 產業道路	雲林縣	1.28	12	77	1,824	1,914
4f_4U 產業道路	雲林縣	0.00	0	0	0	0
5a_RD 一般道路	雲林縣	794.29	5974	39,714	683,652	730,135
5b_AL 巷弄	雲林縣	518.58	2552	25,929	285,456	314,456
5c_OR 有路名無法歸類	雲林縣	0.00	0	0	0	0
5d_OT 無路名	雲林縣	7,884.44	2783	394,222	648,744	1,053,634
5e_BR 區塊道路	雲林縣	360.30	1710	18,015	192,732	212,817
5f_其他道路	雲林縣	0.00	2	0	216	218
1a_HW 國道	嘉義縣	93.09	58	9,309	122,600	132,061
1b_HU 國道附屬	嘉義縣	29.27	91	2,927	200,200	203,247
1c_OE 公務專用	嘉義縣	0.00	0	0	0	0
2a_RE 市區快速道路	嘉義縣	0.00	0	0	0	0
2b_1E 省道快速道路	嘉義縣	130.07	204	13,007	496,100	509,441
3a_1W 省道	嘉義縣	271.42	1514	16,285	394,944	413,015
3b_1U 省道	嘉義縣	112.85	759	6,771	179,520	187,163
4a_2W 縣市道	嘉義縣	383.23	2702	22,994	497,862	523,941
4b_2U 縣市道	嘉義縣	160.72	1192	9,643	212,814	223,810
4c_3W 鄉道	嘉義縣	883.41	6924	53,005	1,268,928	1,329,740
4d_3U 鄉道	嘉義縣	105.48	823	6,329	145,998	153,255
4e_4W 產業道路	嘉義縣	34.60	117	2,076	14,616	16,844
4f_4U 產業道路	嘉義縣	0.00	0	0	0	0
5a_RD 一般道路	嘉義縣	332.92	2330	16,646	261,096	280,405
5b_AL 巷弄	嘉義縣	176.80	1233	8,840	135,540	145,790
5c_OR 有路名無法歸類	嘉義縣	10.58	11	529	1,980	2,531
5d_OT 無路名	嘉義縣	9,075.79	2594	453,789	598,380	1,063,839
5e_BR 區塊道路	嘉義縣	157.13	690	7,856	75,444	84,147

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案

道路等級	縣市	道路長度 (KM)	路口數量 (個)	長度總價 (元)	路口總價 (元)	總費用 (元)
5f_其他道路	嘉義縣	0.00	0	0	0	0
1a_HW 國道	屏東縣	100.91	36	10,091	90,000	100,228
1b_HU 國道附屬	屏東縣	27.00	65	2,700	143,000	145,792
1c_OE 公務專用	屏東縣	2.37	13	142	1,560	1,717
2a_RE 市區快速道路	屏東縣	0.00	0	0	0	0
2b_1E 省道快速道路	屏東縣	25.22	16	2,522	43,200	45,763
3a_1W 省道	屏東縣	114.23	474	6,854	155,760	163,202
3b_1U 省道	屏東縣	373.68	2617	22,421	646,056	671,468
4a_2W 縣市道	屏東縣	81.03	336	4,862	65,520	70,799
4b_2U 縣市道	屏東縣	298.01	2166	17,881	402,876	423,221
4c_3W 鄉道	屏東縣	188.97	960	11,338	190,566	203,053
4d_3U 鄉道	屏東縣	594.66	5685	35,679	1,003,734	1,045,693
4e_4W 產業道路	屏東縣	20.19	58	1,211	8,112	9,402
4f_4U 產業道路	屏東縣	27.81	89	1,668	11,988	13,773
5a_RD 一般道路	屏東縣	1,478.33	12920	73,916	1,458,060	1,546,375
5b_AL 巷弄	屏東縣	1,487.23	8648	74,362	960,252	1,044,749
5c_OR 有路名無法歸類	屏東縣	70.30	51	3,515	5,772	9,408
5d_OT 無路名	屏東縣	6,021.85	2069	301,092	338,364	647,547
5e_BR 區塊道路	屏東縣	573.89	1546	28,694	170,268	201,082
5f_其他道路	屏東縣	0.00	2	0	216	218
1a_HW 國道	花蓮縣	0.00	0	0	0	0
1b_HU 國道附屬	花蓮縣	0.00	0	0	0	0
1c_OE 公務專用	花蓮縣	0.00	0	0	0	0
2a_RE 市區快速道路	花蓮縣	0.00	0	0	0	0
2b_1E 省道快速道路	花蓮縣	0.00	0	0	0	0
3a_1W 省道	花蓮縣	334.82	1558	20,089	458,016	479,998
3b_1U 省道	花蓮縣	195.55	1232	11,733	304,392	317,552
4a_2W 縣市道	花蓮縣	56.15	333	3,369	77,310	81,068
4b_2U 縣市道	花蓮縣	60.51	420	3,631	84,870	88,981
4c_3W 鄉道	花蓮縣	214.29	1322	12,857	263,106	277,499
4d_3U 鄉道	花蓮縣	156.48	1388	9,389	240,606	251,539
4e_4W 產業道路	花蓮縣	42.94	125	2,576	17,196	19,940
4f_4U 產業道路	花蓮縣	0.00	0	0	0	0
5a_RD 一般道路	花蓮縣	849.51	6193	42,475	707,256	756,774
5b_AL 巷弄	花蓮縣	424.49	2115	21,224	237,828	261,592
5c_OR 有路名無法歸類	花蓮縣	104.35	82	5,217	10,176	15,580
5d_OT 無路名	花蓮縣	4,503.41	2451	225,170	555,264	787,389
5e_BR 區塊道路	花蓮縣	189.95	732	9,498	83,016	93,436

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案

道路等級	縣市	道路長度 (KM)	路口數量 (個)	長度總價 (元)	路口總價 (元)	總費用 (元)
5f_其他道路	花蓮縣	0.00	1	0	108	109
1a_HW 國道	臺東縣	0.00	0	0	0	0
1b_HU 國道附屬	臺東縣	0.00	0	0	0	0
1c_OE 公務專用	臺東縣	0.00	0	0	0	0
2a_RE 市區快速道路	臺東縣	0.00	0	0	0	0
2b_1E 省道快速道路	臺東縣	0.00	0	0	0	0
3a_1W 省道	臺東縣	250.95	1257	15,057	364,296	380,861
3b_1U 省道	臺東縣	155.47	1146	9,328	282,192	292,822
4a_2W 縣市道	臺東縣	48.26	193	2,896	36,018	39,155
4b_2U 縣市道	臺東縣	18.89	94	1,134	17,604	18,850
4c_3W 鄉道	臺東縣	261.40	1293	15,684	246,258	263,496
4d_3U 鄉道	臺東縣	161.84	1136	9,710	198,792	209,800
4e_4W 產業道路	臺東縣	204.14	712	12,248	82,308	95,472
4f_4U 產業道路	臺東縣	0.00	0	0	0	0
5a_RD 一般道路	臺東縣	409.42	3188	20,471	354,804	378,872
5b_AL 巷弄	臺東縣	471.63	2543	23,582	276,360	302,956
5c_OR 有路名無法歸類	臺東縣	139.14	105	6,957	12,396	19,597
5d_OT 無路名	臺東縣	4,458.50	1272	222,925	251,496	480,151
5e_BR 區塊道路	臺東縣	162.43	347	8,121	38,136	46,767
5f_其他道路	臺東縣	0.00	0	0	0	0

第四章 規劃三維鐵路及捷運模型建置方法

4.1 三維鐵路及捷運模型資料來源分析

臺灣通用電子地圖除一般車行道路圖層外，也包含臺灣鐵路(線)、高速鐵路(線)、捷運(線)、輕軌捷運(線)等相關圖層，其是以簡化縮編且用單線繪製方式進行數化，並於其屬性欄位內記錄對應之路線名稱、路線類型、來源定義等資料並依其縣市界及類型進行分段，故其可對應電子地圖中的道路中線之做法進行應用。臺灣通用電子地圖已於今年(108 年)新增臺灣鐵路面(面)、高速鐵路面(面)、捷運面(面)及輕軌捷運面(面)等四個圖層，因此建置方式可以參考一般道路模型建置之流程。

為能了解鐵路及捷運模型是否能如其他車行道路圖層一樣能有效轉製成三維模型，需要先了解其數化方式才能利用其成果進行作業，臺灣鐵路面(面)、高速鐵路面(面)、捷運面(面)及輕軌捷運面(面)，其數化須考量列車運轉路線包括軌道及承載軌道之路基(路堤及隧道)與橋涵等構造物，以軌道使用範圍為考量，故面圖層邊界原則上以量測至構造物兩側之最大面寬，並考量外緣平整為原則進行繪製，108 年臺灣通用電子地圖新增的臺灣鐵路面(面)、高速鐵路面(面)、捷運面(面)及輕軌捷運面(面)已配合前開原則繪製。軌道面成果與一般道路面、立體道路面及隧道面一樣無記錄任何屬性欄位，故其參考資訊來自於原有的中線資訊。其與道路中線之欄位對應如表 4-1，臺灣鐵路、高速鐵路、捷運以及輕軌捷運於結構類型欄位中並無橋樑欄位，經過檢視與確認之後，臺灣鐵路、高速鐵路、捷運以及輕軌捷運屬於橋梁類型之結構皆以高架類型記錄。

表 4-1 中線結構欄位對應表

圖層	平面	橋梁	隧道		匝道	高架	地下 路段	纜車
			平面 隧道	高架 隧道				
道路中線	O	O	O		O	O	O	X
臺灣鐵路	O	X	O	O	X	O	O	X
高速鐵路	O	X	O	O	X	O	O	X
捷運	O	X	O	O	X	O	O	O
輕軌捷運	O	X	O	O	X	O	O	O

4.2 三維鐵路及捷運模型建置方法規劃

由表 4-1 內容，可將模型建製方式依據其對應結果，分成下列不同作業方式。

1. 橋梁、匝道：

鐵路與捷運中線圖層欄位資料如表 4-2 及表 4-3，其中無橋梁及匝道相關欄位資訊，故不須考慮。

表 4-2 電子地圖鐵路中線圖層欄位資料表

欄位名稱(英文)	欄位名稱(中文)	內容說明
RAILID	臺灣鐵路線段識別碼	縣市碼(1碼)+流水號(10碼)
RAILNAME	臺灣鐵路線段名稱	如：縱貫線、花東線、集集支線
RAILTYPE	臺灣鐵路類型代碼	1：高架 2：平面 3：地下化 4：高架隧道 5：平面隧道
MDATE	測製年月	僅填至月份，如：2008年3月，則填入200803
DEFINITION	來源定義代碼	0：位置明確 1：受遮蔽但位置已知 2：受遮蔽但位置未知 3：規劃/興建/中斷

表 4-3 電子地圖捷運中線圖層欄位資料表

欄位名稱(英文)	欄位名稱(中文)	內容說明
MRTID	捷運線段識別碼	縣市碼(1碼)+流水號(10碼)
MRTSYS	捷運系統名稱	如：臺北捷運、高雄捷運等。
MRTCODE	捷運線段名稱	如：淡水信義線、板南線。
MRTTYPE	捷運類型代碼	1：高架 2：平面 3：地下化 4：高架隧道 5：平面隧道 6：纜車
MDATE	測製年月	僅填至月份，如：2008年3月，則填入200803
DEFINITION	來源定義代碼	0：位置明確 1：受遮蔽但位置已知 2：受遮蔽但位置未知 3：規劃/興建/中斷

2. 纜車：

纜車模型型式明顯與其他模型不同，且其高度資訊也無法從 DEM 及 DSM 萃取，故建議排除其模型格式。

3. 平面、隧道、高架、地下路段：

由於軌道面資料目前並無切分，故須先參考軌道中線篩選出不同結構種類進行切分，並依據其性質差異分別參考 DEM 及 DSM 的高程資訊進行高程擬合作業，三維鐵路及捷運模型建置流程與道路模型建置流程相似，其流程如圖 4-1。

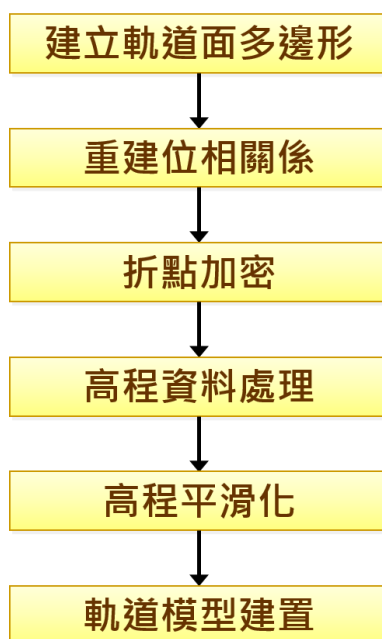


圖 4-1 建置三維鐵路及捷運模型流程圖

由以上流程可知，三維鐵路及捷運模型建置作業與三維道路模型建置作業流程大致相同，鐵路及捷運面圖層無區分平面、高架、隧道、地下路段，所以也需要先進行切分作業，方可進行後續高程處理步驟。除此之外，為考量後續軌道模型建置時程規劃以及建置策略，藉由 107 年臺灣通用電子地圖鐵路及捷運圖層成果，計算出各類型道路之數量及長度，如表 4-4。從表 4-4 中可以發現，除了輕軌捷運以外，高速鐵路、臺灣鐵路以及捷運都有相當部分的路線屬於隧道或是地下路段，因此無法使用 DEM 取得高程資訊。而經過訪談各個軌道單位之後，目前各單位對於隧道路段或是地下路段皆無持續更新的實測高程資料，可供參考的多為當初軌道建設時的竣工圖資，但是這些圖資數量龐大且類型繁雜，甚至部分的圖資並未電子化，仍以紙本資料的方式保留。因此後續需特別針對此種無法利用 DEM 取得高程資訊類型的區域，規劃如何取得高程資訊。

表 4-4 107 年臺灣通用電子地圖鐵路捷運數量

	高架(km)	平面(km)	隧道(km)	地下(km)	纜車(km)
高速鐵路	292.5	18.6	19.5	29.8	0
臺灣鐵路	80.2	967.7	26.9	163.3	0
捷運	137.6	4.4	157.6	0.8	4
輕軌捷運	5.1	34.3	0	0	0

藉由完整分析資料來源狀況，於前期作業便可以針對原始資料不足處進行有效之編修彙整及切分，可以大幅度降低後續人工作業量；而針對各種不同鐵路及捷運類型及數量完整掌握，更能有效評估未來推動全臺大範圍作業之成本及時程規劃。另經過訪談各個軌道單位，可以了解各單位掌握的圖資類型以及數量，藉此補足原始電子地圖資料不足的部分，例如臺灣鐵路有針對軌道路線的各軌實測資料，如圖 4-2，就可以藉由此項圖資產製紋理材質，提升軌道模型的細緻度及擬真度。

因此針對三維鐵路及捷運模型，目前規劃以貼附紋理材質方式加強呈現效果，其中載客主線將參考各軌道路線產製對應的軌道樣式紋理材質，而非載客主線(如進維修站)，若無軌道路線資料可參考時，則以素色材質貼附方式處理。



圖 4-2 軌道路線圖資示意圖

不論是鐵路或是捷運，與道路相比有一項最大的不同，就是鐵路與捷運皆為專屬路權，一般民眾無法直接進入該區域，一般道路常有路徑規劃功能之需求，鐵路與捷運路線對於路徑規劃之需求較低，因此若是建置三維鐵路及捷運模型，其主要的使用者應該是以權責機關的使用者為主。從鐵路或是捷運權責機關的訪談中可以得知，其使用者目前作業需求仍以二維圖資為主，對於三維模型，目前仍以視覺展示為主要需求，因此建議先設定以展示為主要需求，培養各權責機關的使用習慣之後，再依據各單位的作業內容

考量無法利用 DEM 取得高程資訊類型的區域，不論是數化竣工圖取得高程資訊或是不同方法實測直接取得高程資訊，估計其成本皆相當高昂。因此建議後續建置三維鐵路及捷運模型時，若是權責單位尚無明確使用需求，則優先建置路面上的區域，意即可以利用 DEM 取得高程資訊之區域，地面下之區域可以排後建置，或是高程資訊以簡單的方式推估，藉此降低建置成本。

第五章 三維道路模型試辦實作

5.1 試辦區域挑選

本案係針對六種不同型態道路進行測試，考量三維道路模型成果展示之呈現效果及完整性，因此挑選試辦區以一完整區塊為主，挑選臺北聯絡道周邊區域，如圖 5-1。臺北聯絡道周邊區域包含了六種不同型態道路，包含了辛亥路地下道、辛亥隧道、萬芳交流道、萬福橋、基隆路高架道路及一般平面道路等各類型態道路。此試辦區域面積為 14.43 平方公里，試辦區域 DEM 為 103 年產製。各種道路長度及占比如表 5-1。

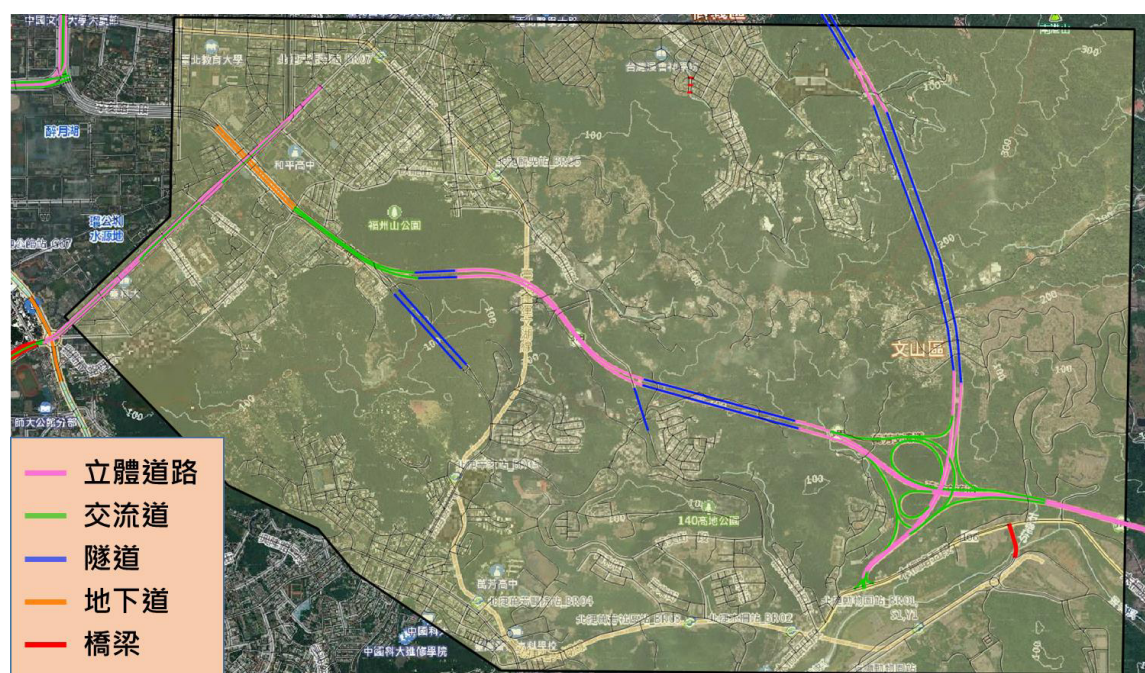


圖 5-1 臺北聯絡道區域

表 5-1 試辦區域道路長度及占比

種類	數量	長度(m)	長度占比(%)
一般平面道路	2132	170,015.57	85.12%
橋梁	5	373.18	0.19%
隧道	11	7,932.46	3.97%
交流道	26	7,771.02	3.89%
高架	24	12,529.75	6.27%
地下路段	2	1,117.03	0.56%

5.2 三維道路模型展示

本公司已經依據工作項目完成六種不同道路類型的三維道路模型，包含一般平面道路、橋梁、隧道、地下道、高架道路以及交流道共六種類型，其整體成果如圖 5-2 至 5-4，分別使用 Google Earth 以及 ArcGIS portal 兩套圖臺展示成果，也於 108 年 10 月 24 日舉辦試辦成果展示會，並於 108 年 11 月 19 日收到國土測繪中心第 3-1 階段三維道路模型試辦實作成果展示業經本中心驗收通過通知。(發文字號：測形字第 1081570428 號)。

圖中土黃色的模型為一般平面道路，如圖 5-5 及 5-6；綠色的模型為橋梁，如圖 5-7 及 5-8；紅色的模型為高架道路，如圖 5-9 及 5-10；紫色的模型為交流道，如圖 5-11 及 5-12；深紅色的模型為隧道，如圖 5-13 及 5-14；藍色的模型為地下道，如圖 5-15 及 5-16。因地形與 DEM 網格大小有關，故通常須特別修正地形才能忠實呈現地下道。本案使用之地形資料未針對地下道區塊特別修正，所以地下道及地下道頭尾兩端下行路段之高程皆會位於地表之下，如圖 5-17 所示。

由表 5-1 的各種道路占比可以了解一般平面道路所占的比例最高，因此於實作道路模型階段也優先測試產製一般平面道路類型之成果。由於 Google Earth 圖臺之限制，無法測試道路模型成果與內政部 DEM 套疊之展示效果，所以另外使用 ArcGIS portal 圖臺展示。ArcGIS portal 可以套用自訂之地形，也可以針對地形調整透明度，所以本公司特別使用本案之 DEM 產製 ArcGIS portal 地形，以便觀察地表下之模型或是模型受遮蔽影響之情況。

於實作過程中發現不同類型的道路模型其交界處高程需特別處理，若是只依據道路類型分開產製模型時會有高程不一致導致的模型錯位現象。另外不同檔案格式於不同圖臺間也會有不同的展示情況，如圖 5-18，原始三維道路模型使用 KML 檔案格式匯入 ArcGIS portal 圖臺會有模型破碎之情況，後來調整使用 DAE 檔案格式為主則解決了此項問題，如圖 5-19，分析此項問題的主要原因是各個圖臺對於三維模型的解讀方式不同，ArcGIS portal 無法判斷原先 KML 檔案內各模型邊緣線節點的連接方式，因此導致展示的模式會有破碎的情況。最後也補充本案試辦實作成果於國土測繪中心三維圖臺展示之成

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案

果，如圖 5-20 至圖 5-24。

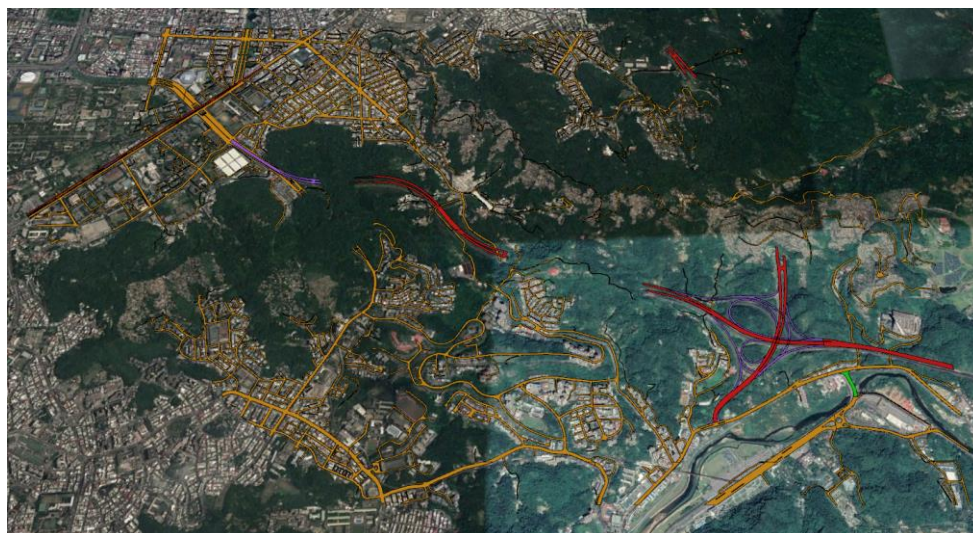


圖 5-2 三維道路模型整體示意圖

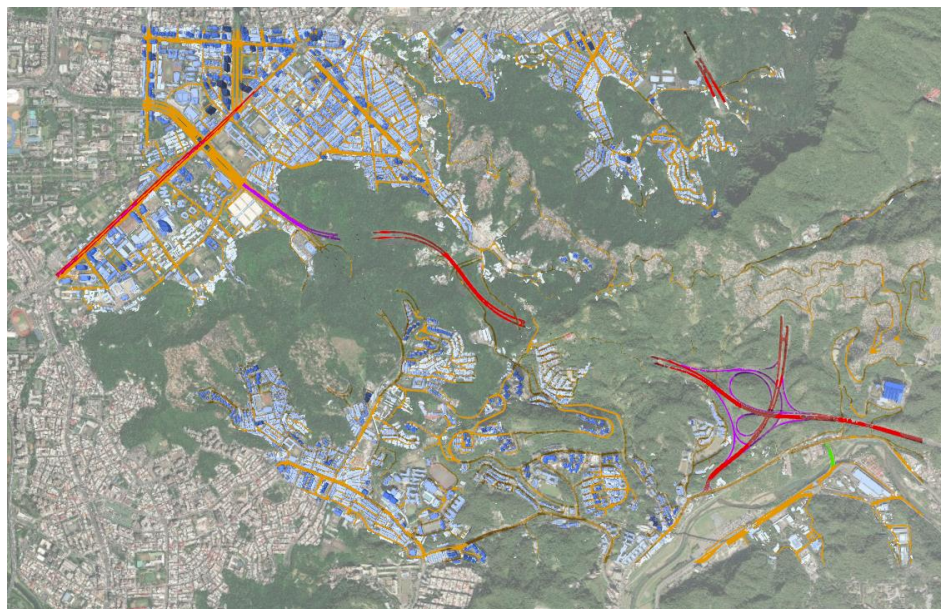


圖 5-3 三維道路模型整體示意圖

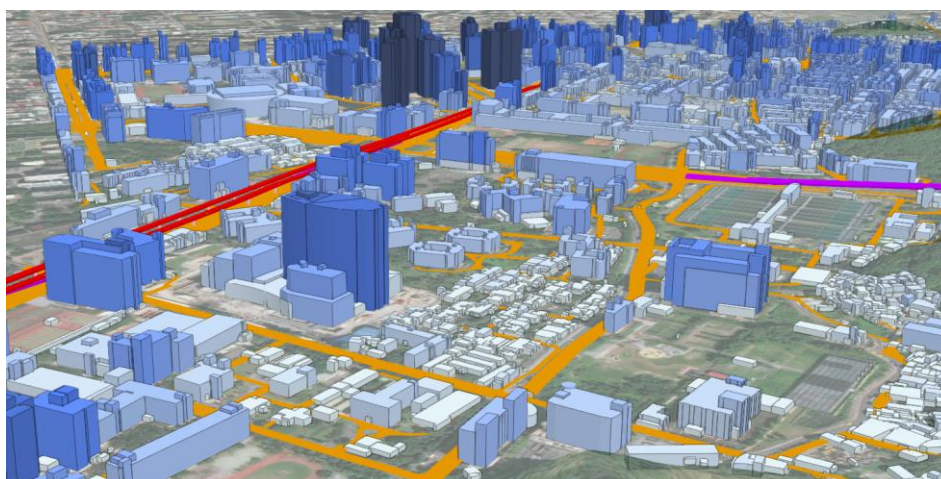


圖 5-4 三維道路模型整體示意圖

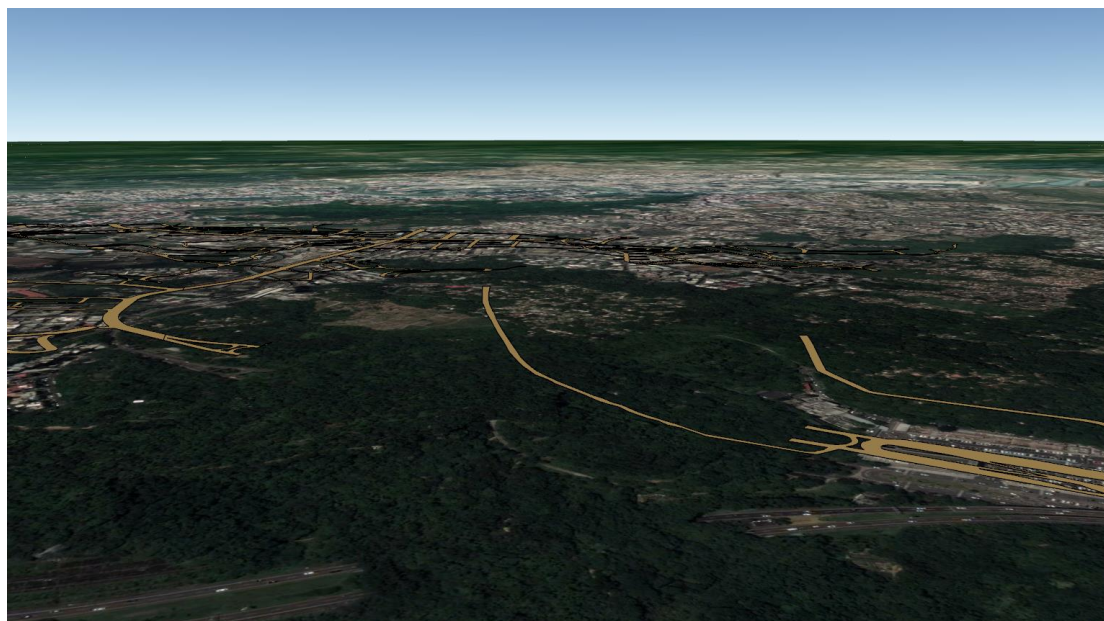


圖 5-5 一般平面道路模型示意圖

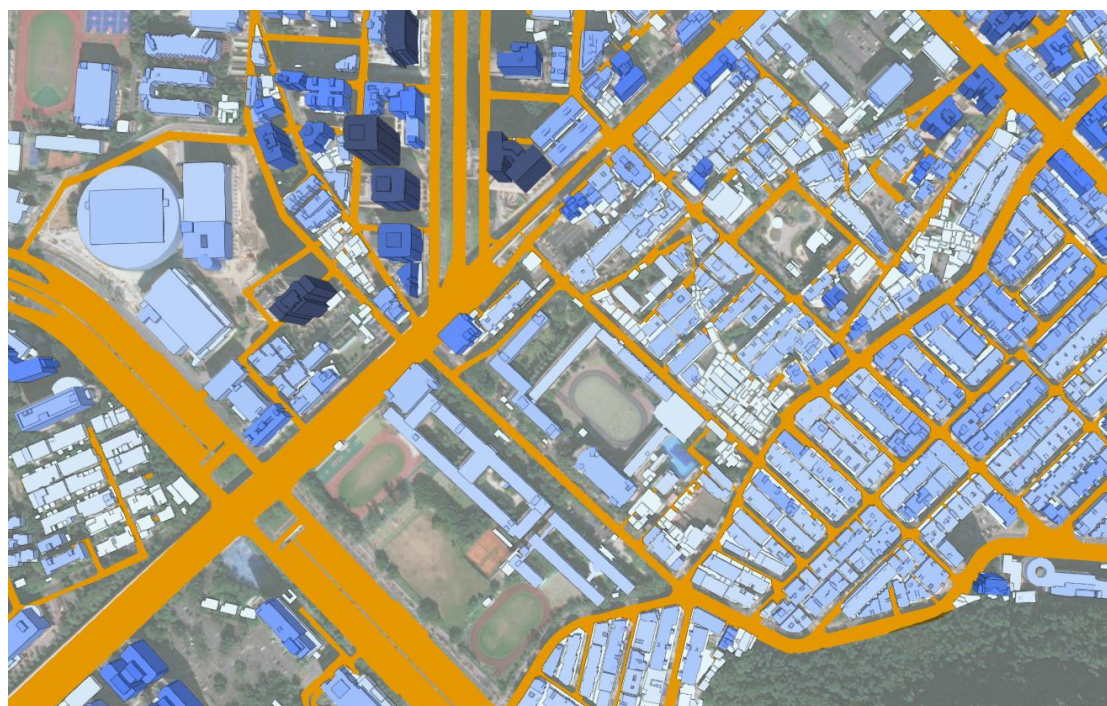


圖 5-6 一般平面道路模型示意圖

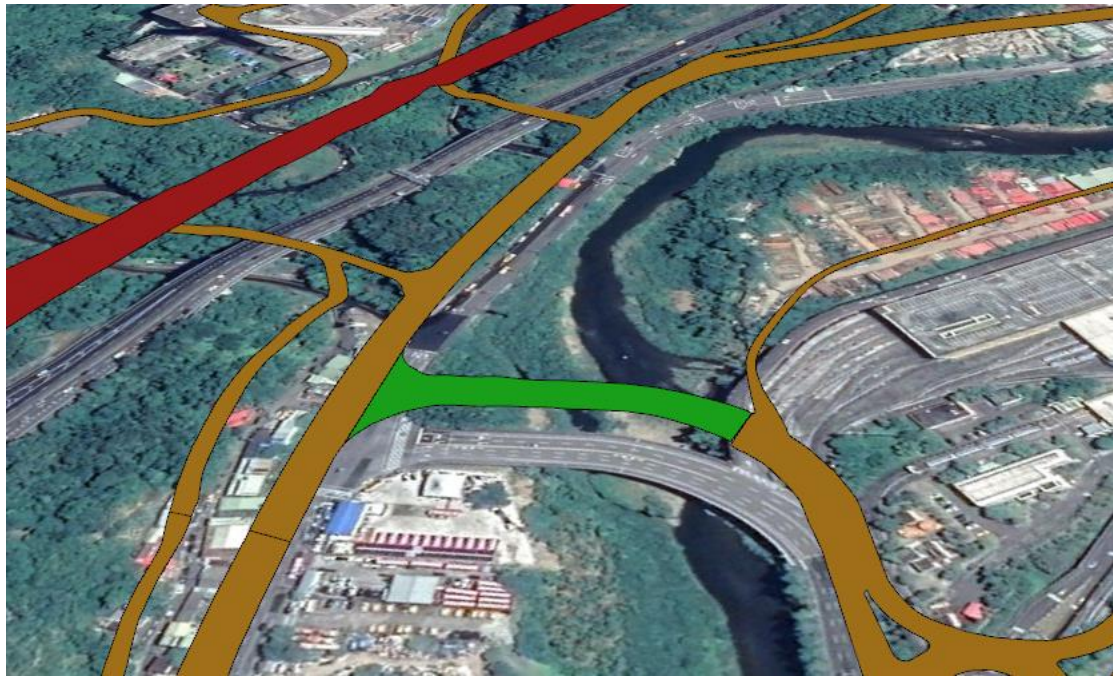


圖 5-7 橋梁模型示意圖

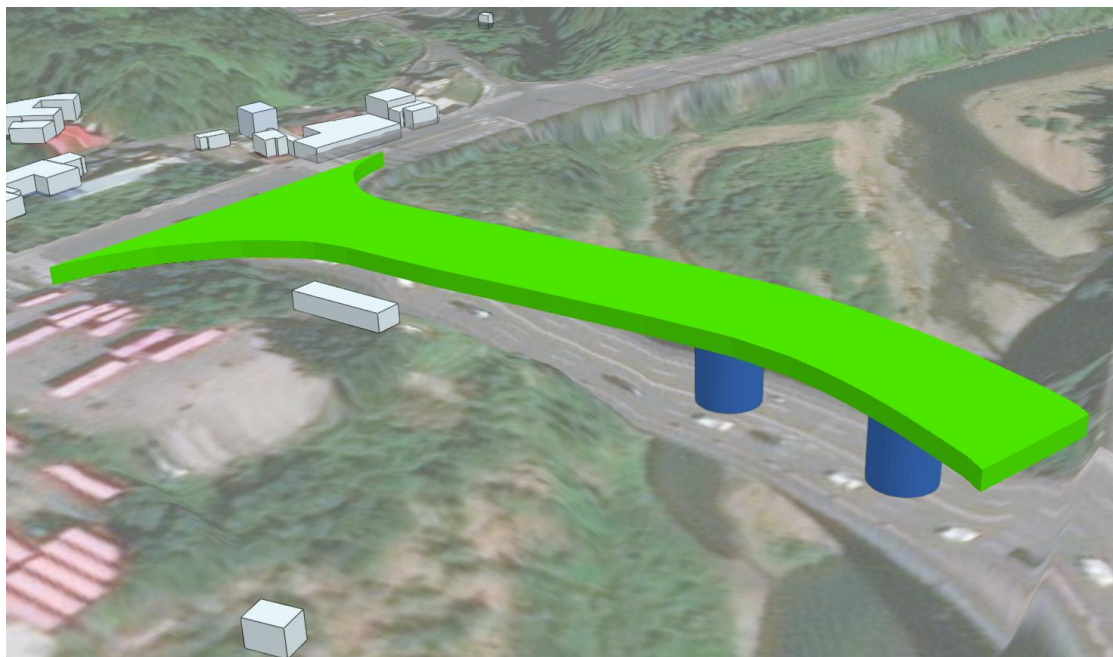


圖 5-8 橋梁模型示意圖

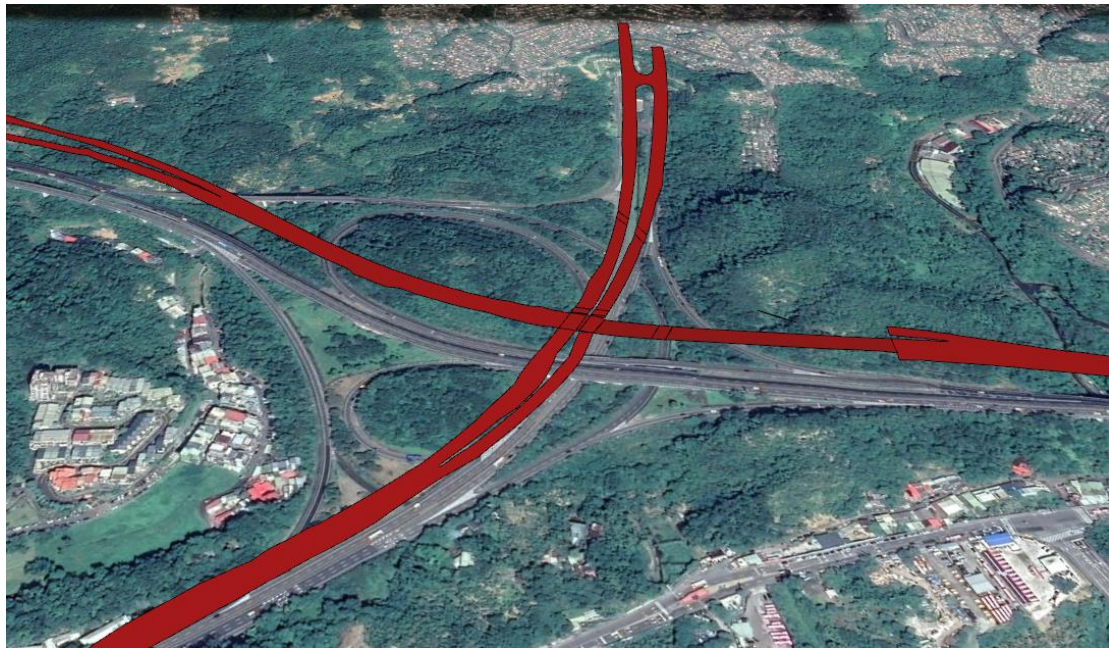


圖 5-9 高架道路模型示意圖



圖 5-10 高架道路模型示意圖

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案



圖 5-11 交流道道路模型示意圖

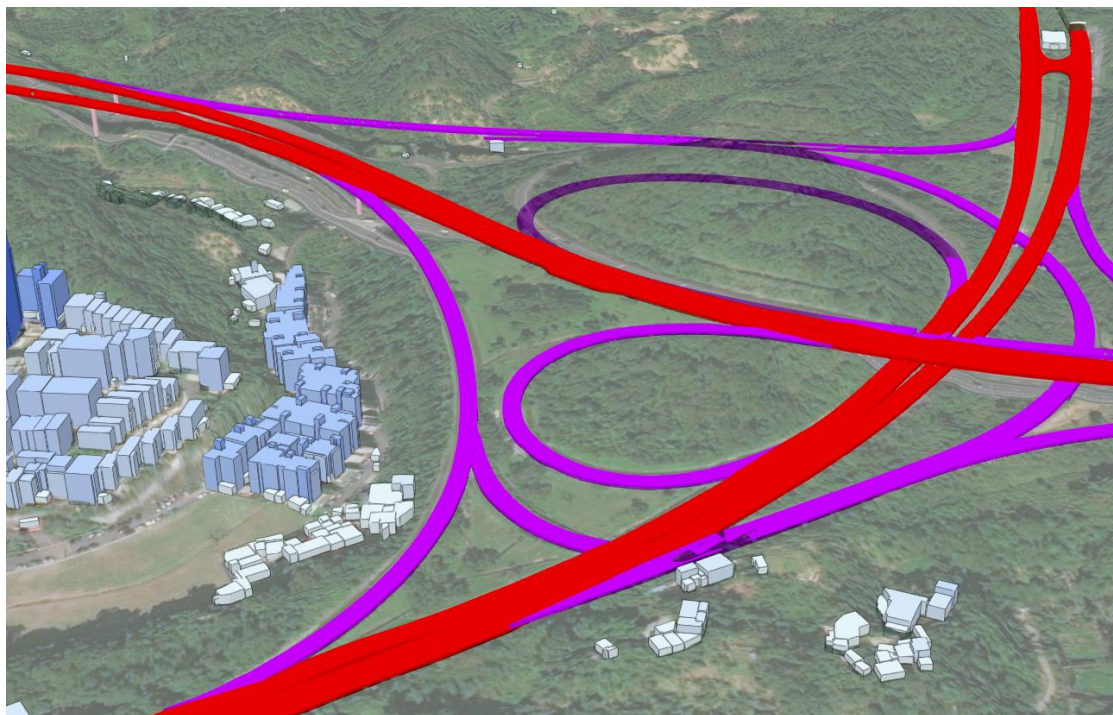


圖 5-12 交流道模型示意圖



圖 5-13 隧道模型示意圖

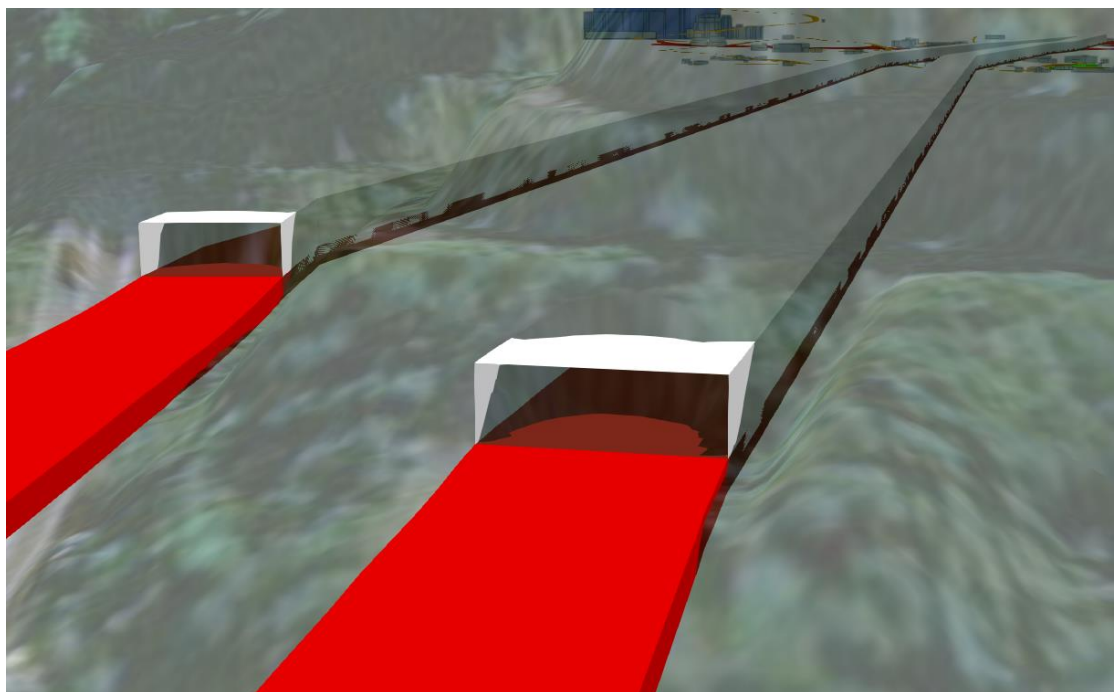


圖 5-14 隧道模型示意圖

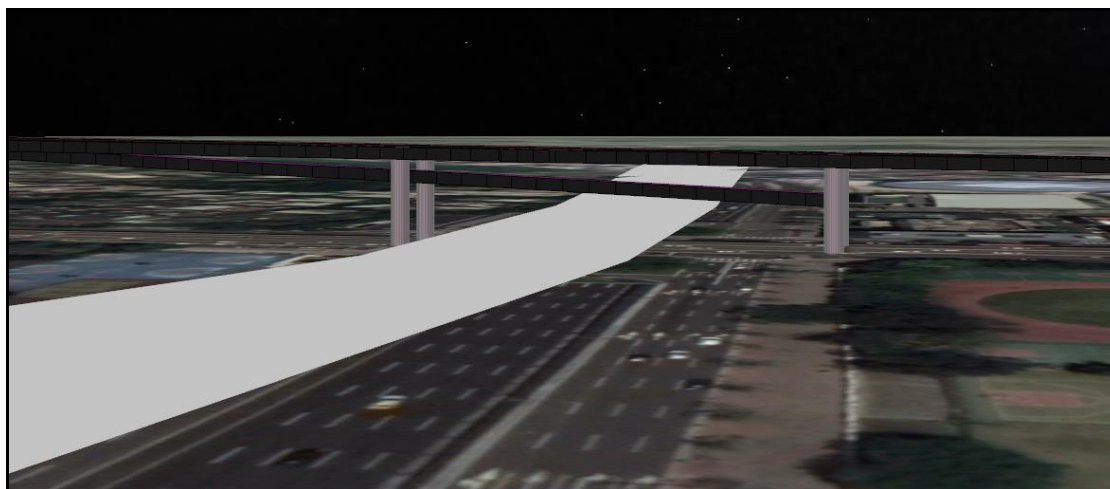


圖 5-15 地下道模型示意圖

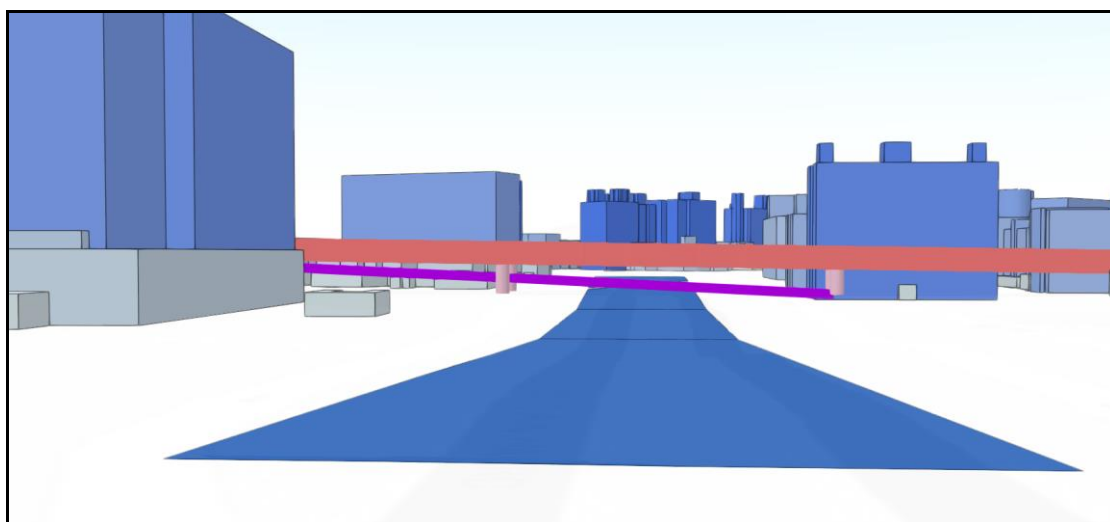


圖 5-16 地下道模型示意圖



圖 5-17 地下道街景展示示意圖

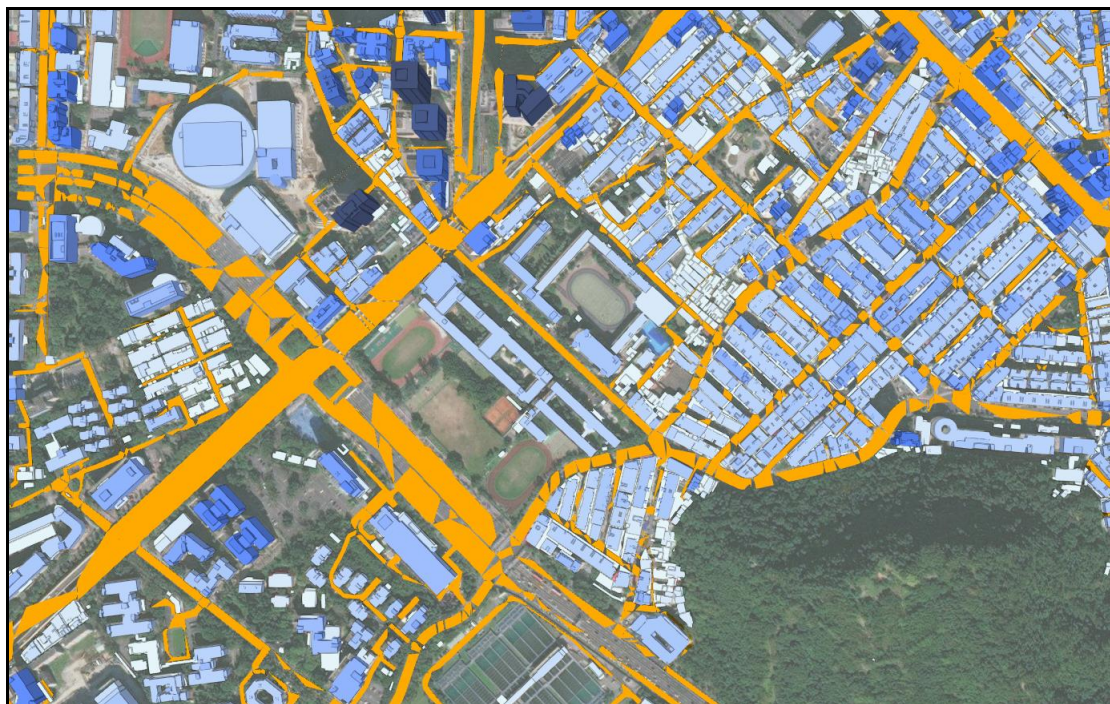


圖 5-18 模型成果破碎示意圖

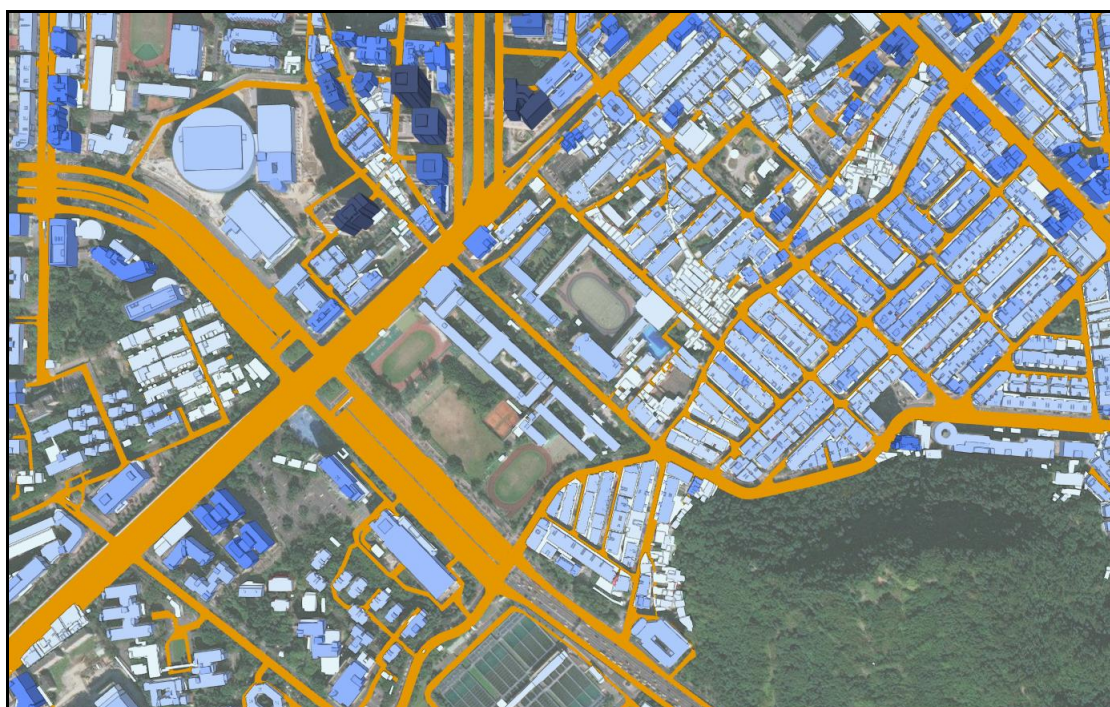


圖 5-19 模型成果完整示意圖

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案

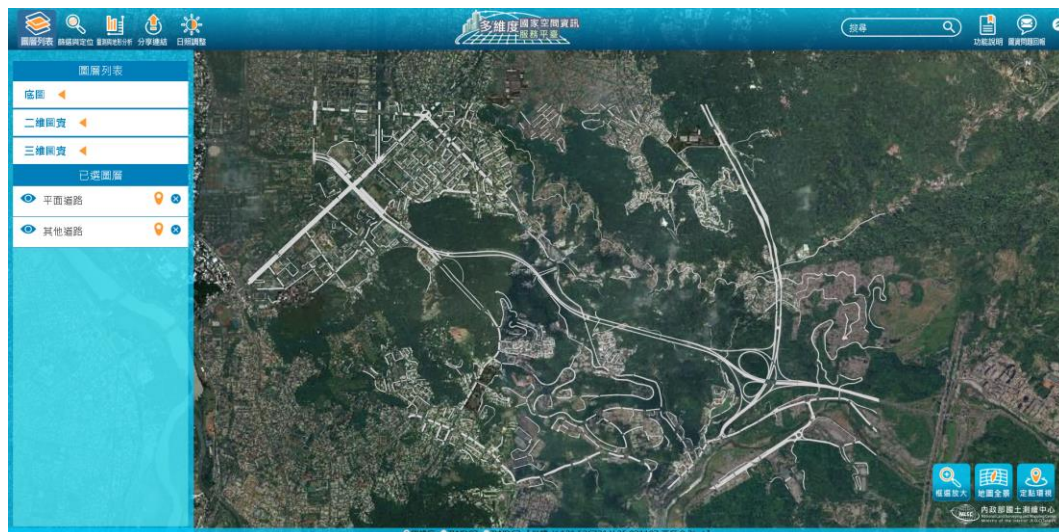


圖 5-20 國土測繪中心三維圖臺三維道路模型成果展示圖

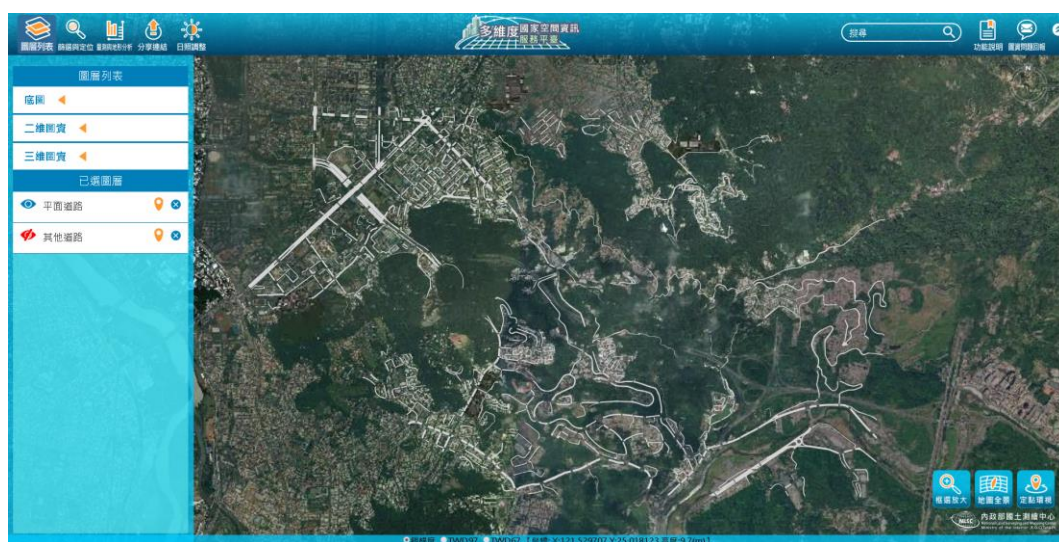


圖 5-21 國土測繪中心三維圖臺平面道路成果展示圖

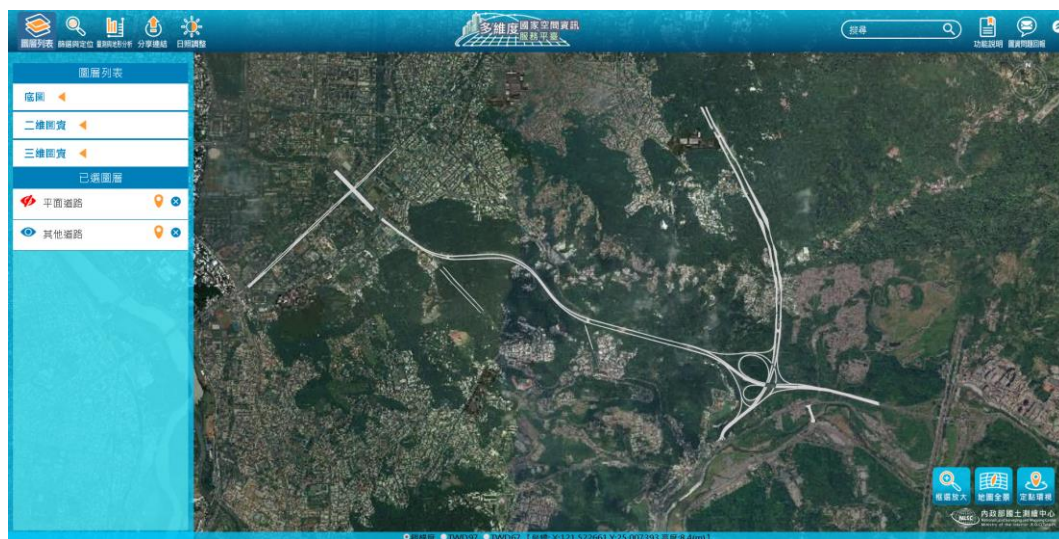


圖 5-22 國土測繪中心三維圖臺其它道路成果展示圖

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案

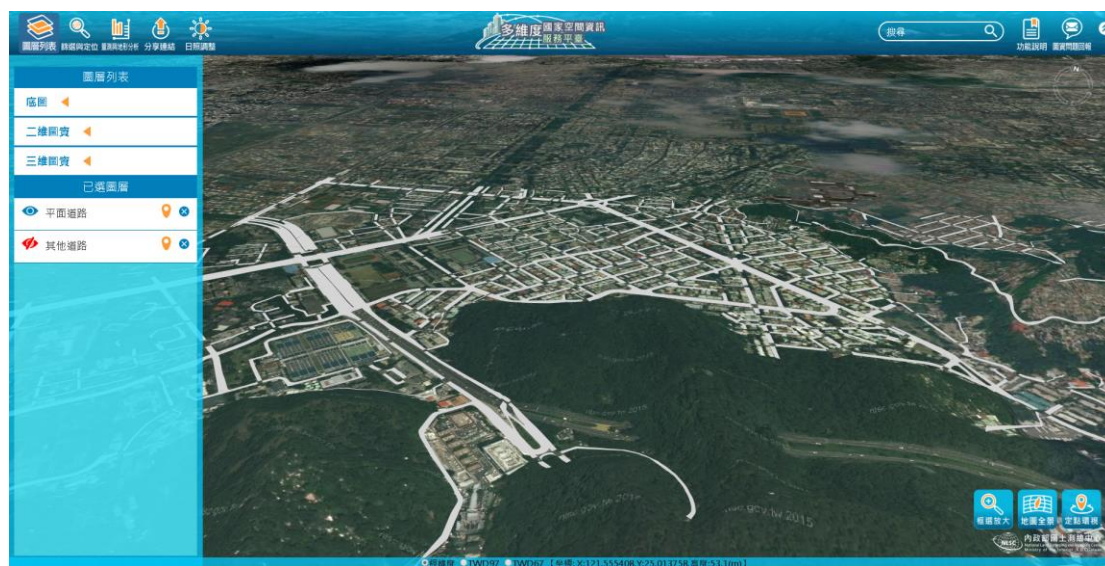


圖 5-23 國土測繪中心三維圖臺一般道路成果側面展示圖



圖 5-24 國土測繪中心三維圖臺三維道路成果側面展示圖

本次試辦區內的三維道路模型依據測繪中心的需求選定下列屬性欄位：道路分類編碼、道路結構碼、道路編號、道路名稱(路/街/巷/弄)、道路別名、測製年月、資料建置代碼、來源定義代碼，如圖 5-25，各欄位詳細內容如表 5-2 說明。

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案

```

<Placemark>
  <name>A_ROADA_FIN_12</name>
  <ExtendedData>
    <SchemaData schemaUrl = "#A_ROADA_FIN">
      <SimpleData name="ROADCLASS1">OT;AL;AL;:::;</SimpleData>
      <SimpleData name="ROADSTRUCT">0;0;0;:::;</SimpleData>
      <SimpleData name="ROADNUM">:::;</SimpleData>
      <SimpleData name="MDATE">201710;201504;201709;:::;</SimpleData>
      <SimpleData name="SOURCE">0;3;3;:::;</SimpleData>
      <SimpleData name="DEFINITION">0;0;0;:::;</SimpleData>
      <SimpleData name="BRITUNNAME">:::;</SimpleData>
      <SimpleData name="ROADALIAS">:::;</SimpleData>
      <SimpleData name="ROADNAMEALL">
        無名;和平東路三段308巷;信義路五段150巷426弄;:::;</SimpleData>
    </SchemaData>
  </ExtendedData>
  <styleUrl>#msn_y1w-pushpin0</styleUrl>

```

圖 5-25 道路模型成果屬性欄位及描述方式說明圖

表 5-2 三維道路模型屬性欄位資料表

欄位名稱(英文)	欄位名稱(中文)	內容說明
ROADCLASS1	道路分類編碼1	記錄交通部之道路等級分級碼
ROADSTRUCT	道路結構碼	0：一般平面道路 1：橋梁 2：隧道 3：匝道 4：高架 5：過水路 6：地下路段
ROADNUM	道路編號	記錄該路段所屬國道、省道、縣道、鄉道及產業道路(農路)等道路等級與編碼，如：國1、臺3、縣187、嘉1、農投草中27等。
ROADNAMEALL	道路名稱	記錄路段所屬道路名稱。(包含路街巷弄)
ROADALIAS	道路別名	除上述道路名稱外，若道路有其他一般公認名稱，皆可記錄於此欄位，如：中山高速公路、中豐公路、碧湖產業道路、忠孝圓環等。
BRITUNNAME	橋梁名、隧道名	記錄各座橋梁、隧道名稱
MDATE	測製年月	僅填至月份，如：2008年3月，則填入200803
SOURCE	資料建置代碼	0：立體製圖 1：地測 2：航拍正射數化 3：引用1/1,000地形圖 4：引用門牌系統圖資 5：引用1/5,000GIS資料庫資料 6：引用其他圖資 7：測繪車 8：設計/竣工圖資 9：衛照正射數化
DEFINITION	來源定義代碼	0：位置明確 1：受遮蔽但位置已知 2：受遮蔽但位置未知 3：規劃/興建/中斷

由於三維道路模型與圖臺展示所使用的地形模型應互相配合，才

能提供最佳顯示效果，以下針對影響呈現效果的課題進行說明。

一、DEM 解析度差異：

由於平面道路的三維道路模型高程資訊來自於 DEM 資料，但是 DEM 資料來源與圖臺呈現的 DEM 資料來源不同，其精度也不同，因此導致道路模型顯示時會被現有地形資料遮蔽情形，如圖 5-26 及圖 5-27，平面道路模型和圖臺展示的 DEM 模型無法配合，部分道路模型沉入地表下。



圖 5-26 地形資料遮蔽情形示意圖

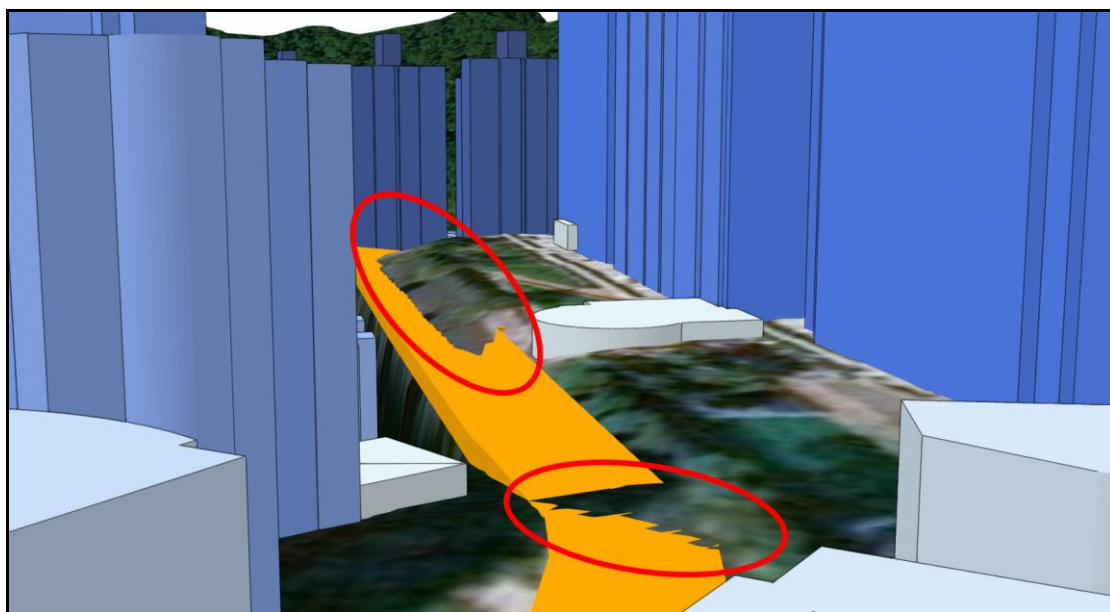


圖 5-27 地形資料遮蔽情形示意圖

此情形有三種不同處理方式，單一處理方式無法完全處理地形資料遮蔽情形的問題，因此可以依據實際情況搭配不同方式進行處理。

三種不同處理方式說明如下：

1. 修正地形資料，使地形資料配合地面上的一般道路模型

此種方法需要修正大量的地形資料，且不同網格大小的地形資料都需進行不同的修正，若以未來全臺建置道路模型資料的角度思考，此種方法需耗費龐大工作量，可行性較低。若是可以從圖臺直接修正視窗範圍內的地形資料，則可行性較高。

2. 道路模型記錄相對高度，利用相對高度配合地形展示模型

此種方法為配合圖臺呈現，利用相對高度方式使一般道路貼合地形資料，以此避免地形資料遮蔽情形。實際執行時，相對高度的模型只用於圖臺展示使用，供應資料時仍以絕對高度的道路模型資料供應。此外，此種方式會受限於圖臺展示時使用地形資料的網格解析度粗細大小，展示時若是使用網格解析度較粗的地形資料，則道路模型無法展示較細緻的高程變化情況。

3. 彩帶式道路模型增加厚度，利用厚度降低地形遮蔽的影響

此種方式需考量增加的厚度量值以及厚度增加方向(向上、向下、同時向上及向下)，此種方法主要是使地形資料遮蔽或是道路模型懸空的情況於顯示時較為美觀及合理，但是遇到地形資料遮蔽嚴重的情況則無法處理，因此此項方法雖是最簡單的方法，但其適用性也較低。

地形資料遮蔽情形的處理方法，因依據實際情況綜合採用三種方式，建議以第三種增加厚度的方法優先進行，不足的部分再搭配相對高度或是修正地形的的方法進行補強，以此策略達到最好的效果。

二、 隧道呈現方式：

電子地圖隧道面本體多為地表下遮蔽區域，僅隧道出入口位置部分裸露於地表面上，如圖 5-28，故圖臺展示時需能支援地表下物件呈現，方可呈現地表下隧道之主體，如圖 5-29，左側圖片為地形無透明度，無法呈現地表下之隧道模型。右側圖

片為地形可以調整透明度，可呈現地表下之隧道模型。



圖 5-28 電子地圖隧道面僅出入口裸露於地表

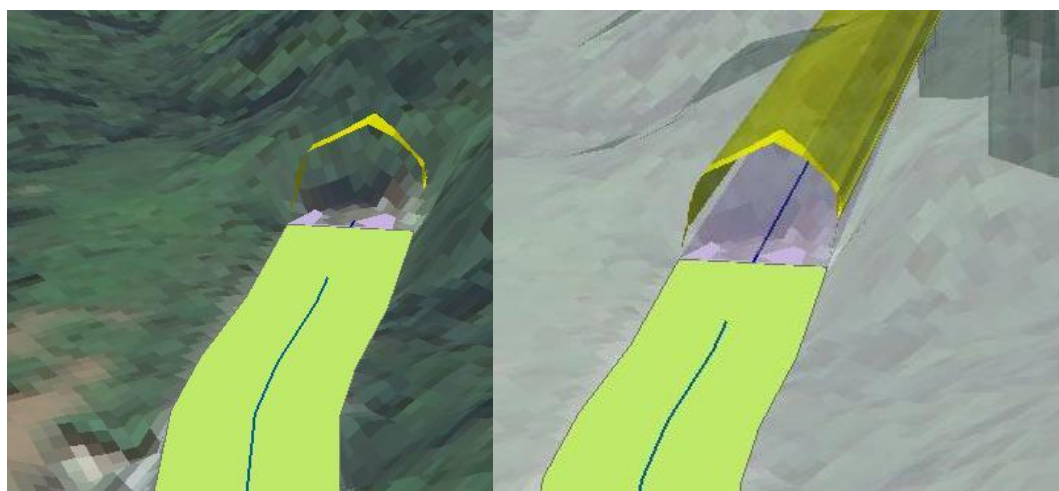


圖 5-29 隧道本體多在地表下

三、 地下道呈現方式：

地下道結構可依據其位置分為上下坡地表裸露區及主體地表下遮蔽區兩種方式，如圖 5-30，其主體遮蔽區與上述隧道類似，圖臺展示時需能支援地表下物件呈現，而上下坡地表裸露區則需要依照道路模型適當修正地表呈現，使上下坡處之地形模型能呈現出地下道側面，因一般的地形模型於此種上下坡地表裸露區通常不會記錄裸露的地下道高度，一般皆直接記錄周圍的地表高度，此乃受限於地形模型之解析度以及地形模型

之編修方式，所以若要詳細呈現該裸露區之地形變化，則需依據道路模型適當修正，如圖 5-31。



圖 5-30 地下道兩種不同結構形式



圖 5-31 地表環境配合地下道呈現側面牆面

由於本案試辦之道路模型為 LOD1 道路模型，其本身僅為彩帶式模型格式，但展示效果與展示圖臺息息相關，為提升模型擬真度、細緻度以及提高一般民眾感受，建議後續可以測試不同方法，例如添加道路物件的輔助模型、道路邊緣著色、依據道路等級給予不同配色等方法。

第六章 品質分析及檢核

本案現有圖資利用臺灣通用電子地圖及全臺 DEM，結合上述兩種資料產製道路模型。優點一、臺灣通用電子地圖為國家重要基本底圖，更新頻率快速且平面精度高，除此之外與全臺三維建物模型具有一致性。優點二，全臺 DEM 資料，可快速獲取大範圍道路之高程資訊。為確保道路模型成果品質，規劃四種品質檢核方式，一為道路模型成果的幾何精度；二是道路模型的屬性資料檢核；三是道路坡度合理性檢核；四是道路模型資料格式轉換成果。

6.1 道路模型成果精度檢核

道路模型為三維彩帶式模型，模型應能忠實描述路面高度起伏變化，並於具有立體交叉之道路區段，能夠建立完整且連續之各層三維彩帶道路模型。三維道路模型資料為臺灣通用電子地圖道路圖層之表現維度的延伸，而道路邊界之垂直平行投影即可形成二維道路圖層，因此，道路邊界之平面坐標精度、道路資料完整性以承接來源圖資之精度及資料為原則。高程精度標準則依據高程觀測資料來源分級訂定，如：平面道路、高架道路之高程精度應符合來源 DEM 之精度規範；若是有使用測繪車、光達掃描等不同觀測來源之資料，則應依照其使用之資料符合對應之精度規範。除了考量原有觀測資料之平面精度與高程精度之外，三維道路模型成果也需符合 LOD1 道路模型之幾何精度規範，因此也需要將三維道路模型成果利用現地實測成果進行精度檢核。

針對產製之三維道路模型成果，採抽樣檢核模式檢核其平面精度及高程精度，以電子地圖分幅數量之 10%，每幅隨機抽驗 20 個道路模型單元，每一個模型單元分析其節點之平面與高程資訊並與記錄該節點與來源資料之間的誤差，之後分別就各模型單元之平面精度與高程精度分析模型與來源資料之間的誤差，若誤差未通過，則須重新進行檢查。除此之外同樣採用抽樣檢核模式檢核其平面精度及高程精度是否符合 LOD1 道路模型幾何精度規範，CityGML2.0 對於 LOD1 模型之平面及高程精度要求為 5 公尺，考量現地實測之人力與成本，以電子地圖分幅數量之 1%，每幅隨機抽驗 10 個道路模型單元，挑選該道路模型單元容易識別之邊緣線折點，分別就平面精度與高程精度分析三維道路模型與現地實測資料之間的誤差，若誤差未通過，則須重新進行檢查。

6.2 道路模型成果屬性檢核

道路模型的屬性資料檢核分為二個部分：

- 一、**道路面多邊形數量**：檢查分割處理後的道路面多邊形數量與模型數量是否一致。
- 二、**屬性欄位邏輯一致性**：檢查模型成果屬性欄位是否與規劃的屬性欄位一致以及屬性資料內容是否與道路面屬性資料內容相同。

針對道路模型的屬性資料檢核皆採用程式自動化 100% 檢核，確保模型資料無漏失之情形。

6.3 道路坡度合理性檢核

依據交通部頒布的公路路線設計規範

(<https://www.motc.gov.tw/ch/home.jsp?id=740>)，不同等級的道路皆有不同的坡度最大容許值，屬於設計要素中的項目；而道路路線設計時，橫斷面則是由行車道、路肩、分隔帶、邊坡以及交通工程、停車、排水、擋土或其他附屬設施組成，橫斷面考量的項目及種類繁雜，所以參照公路路線設計要素之概念，依據不同的道路等級檢核每段 LOD0 道路中線模型的坡度是否皆小於規範中各級道路的最大容許值。道路模型坡度合理性檢核皆採用程式自動化 100% 檢核，確保模型資料無漏失之情形。

6.4 模型資料格式轉換成果檢核

XML 屬於一種較為開放的資料格式，可根據使用者需求建置不同的標記，且無硬性規定一定要包含特定屬性或敘述等內涵。KML (KMZ) 為遵循 XML 文件格式、架構所產出之資料格式，因此具有 XML 原有之開放、可擴充性功能，但也可能造成各軟體產出之 KML 格式不盡相同。考量 KML 格式為一種三維模型的通用格式，因此本案在模型資料格式轉換成果檢核上，選擇最常見 Google Earth 平臺進行檢核，模型成果需可於 Google Earth 平臺中瀏覽並完整呈現。另外也需確保模型成果可進行不同檔案格式轉換作業，以確保模型之通用性，進而達到模型資料格式之品質管控。若未來國土測繪中心將以自建圖臺為主，也可以納入 DAE 格式為檢核指標，只是目前 DAE 檔案格式目前缺乏如 Google Earth 一般常見的通用平臺可以進行驗證。

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案

針對道路模型資料格式轉換成果，檢核繳交之資料格式，需合於規範繳交 KML(或 KMZ)的成果檔，正確率應達 100%。

針對三維道路模型規劃的檢核表單如表 6-1，詳細表單內容如附錄三內的表 1 至表 5。

表 6-1 各工作階段之檢核表單

項次	階段性成果	抽驗單元	抽驗數量	合格率	檢核重點項目	附錄三
1	道路模型成果 精度(資料來源)	圖幅號 道路模型單元	電子地圖分幅 數量之 10% 每幅抽驗 20 個 道路模型單元	100%	模型與來源資料間的 誤差 平面精度、高程精度	表 1
2	道路模型成果 精度(現地實測)	圖幅號 道路模型單元	電子地圖分幅 數量之 1% 每幅抽驗 10 個 道路模型單元 每個模型單元 挑選容易識別 之邊緣線折點	100%	模型與現地實測資料 間的誤差 平面精度、高程精度	表 2
3	道路模型成果 屬性	道路模型單元	全數查核	100%	道路面多邊形數量 屬性欄位邏輯一致性	表 3
4	道路模型成果 坡度合理性	道路模型單元	全數查核	100%	坡度是否皆小於規範 的最大容許值	表 4
5	資料格式轉換 成果	道路模型單元	全數查核	100%	符合 Google Earth 平臺 與 Sketchup 軟體要求	表 5

第七章 結語與建議

內政部與國家發展委員會積極推動將現有 2D 國家底圖升級為 3D 國家底圖，定調以「數值地形模型」及「臺灣通用電子地圖」作為基礎資料進行加值，深化我國 3D 加值智慧應用及產業發展。為達成在 110 年完成全臺三維道路模型建置目標，因此本案以試辦之方式，以內政部提出的三維道路模型建置作業流程為基礎，規劃以臺灣通用電子地圖成果結合數值地形模型建置三維彩帶式道路模型。

本案建置的三維彩帶式道路模型與交通部建置的道路資料以及內政部推動的 HDmap 皆有關聯，但彼此之間試用的情境與需求皆有所不同。交通部建置的各項道路資料屬於基礎資料，主要用於交通部掌握各項道路資訊。HDmap 主要用於自駕車的導航需求，需要較高的精度，並且需考量更多導航使用上的需求，如區分車道線等。而本案的三維道路模型主要為三維國家底圖的一環，概念為目前國家底圖的三維延伸，主要用於展示，未來希望拓展更多的分析使用。因此三者間皆有關聯，但仍屬於不同的資料，未來可以思考彼此之間可以互相串聯整合，提升整體效益。

由於本案為試辦性質，因此於執行過程中著重於模型建置方法以及使用不同資料加值以及建置方法之分析，包含時間及成本之分析、適用類型之分析、建置成果分析以及成果精緻化之分析。經由不同方案的測試以及反覆的溝通，「108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案」本公司已經順利完成本案，將持續秉持專業、專職、專任的團隊意志，完成國土測繪中心針對本案的不同需求，為往後建置全國三維道路模型定下良好的基礎。針對本案執行的各種方案及實務狀況，提出以下建議事項說明。

一、作業及成果應用建議：

三維道路模型與三維建物模型相比，發展較晚，適合的應用情境或是分析功能仍處於各方探索的階段，但是從資料特性來說，道路與建物的特性不同，道路資料具有連續性而建物資料為各單元獨立。由於模型的應用情境以及分析功能會影響資料的最小建置單元，例如是要以圖幅為最小單元建置道路模型或是以每個道路線段為最小單元。

考量到未來建置全國三維道路模型的時程以及預算，不同的應用情境以及分析功能會有各自適用的最小建置單元，因此建議針對

道路模型的應用情境以及分析功能可以先設定最基本需要使用的功能，設定目標之後才能評估適用的最小建置單元。若是未來需要不同的進階功能，也能利用加值的方式修正道路模型來達到目標。

依據目前之作業經驗，建議 LOD0 模型可以帶入臺灣通用電子地圖中線屬性，提供圖臺進行分析功能，如框選、條件篩選、屬性查詢等功能，而 LOD1 模型則可依照使用或是展示需求由臺灣通用電子地圖道路中線挑選適合的屬性帶入，如道路分類編碼、道路結構碼、道路編號、道路名稱(路/街/巷/弄)、道路別名、測製年月、資料建置代碼、來源定義代碼等欄位。挑選欄位時除了考量使用及展示的需求外，也需考量原本屬性欄位的資料特性。

針對三維鐵路與捷運模型，其建置方式雖然與三維道路模型相似，但是應用需求卻可能有所不同，此外，鐵路與捷運皆屬於專屬路權之基礎建設，與一般民眾皆可以直接進入的道路區域有所不同。因此三維鐵路及捷運模型，其主要使用者應為權責單位的使用者為主。建議後續建置三維鐵路及捷運模型時，若是權責單位尚無明確使用需求，則優先建置路面上的區域，意即可利用 DEM 取得高程資訊之區域，地面下之區域可以排後建置，或是高程資訊以簡單的方式推估，藉此降低建置成本。

二、提升三維道路模型展示效果問題探討：

三維彩帶式道路模型是以素面材質呈現，而為了提升一般大眾對於三維彩帶式道路模型的效果感受，參考三維近似化建物模型的做法，藉由敷貼紋理材質的方式來達成，但是如同先前所提到的連續性特性，道路上具有許多道路標線，因此道路紋理材質不適合使用材質庫的方式敷貼，而觀察既有的航照影像，道路區域也經常會有建物或是行道樹遮蔽的問題，因此利用真實正射影像敷貼的方式也不適合。

分析國外文獻及產製的三維道路模型，目前國際間 LOD1 三維彩帶式道路模型沒有使用紋理材質的案例，而訪談國內不同單位以及有實際產製三維道路模型的導航業者，其提高道路模型擬真度的紋理材質都是使用現地調查資料產製而得。分析其做法及考量後可以得知，由於交通標線對於一般民眾具有相當的參考性，因此與建物模型的牆面紋理材質不同，道路模型的紋理材質需要特別考量造成一般民眾誤導的風險，需要特別評估是否可以承受民眾因為模擬成果與現實不同造成誤導後產生的損失。

在承受風險的考量下，無法取得道路資訊調查圖資的區塊，建議不要使用模擬標線的紋理材質，保持原有的三維彩帶式道路模型。若是為了提升模型的細緻度及擬真度，建議利用現有資料加值之方式進行，可以蒐集各單位道路資訊調查的成果圖資，參考 CityGML 建置道路設施的方式，像是建立道路相關的三維物件模型，如行道樹、路燈、告示牌、號誌、標誌等物件模型，這些物件模型可以使用物件庫的概念建置，只需要利用現有的道路資訊調查成果取得這些物件的位置及尺寸，之後依據調查成果調整物件尺寸，再將三維物件模型擺放到對應的位置，如此也能提升整體三維模型的效果感受。此種方式利用現有資料進行加值，不需再藉由外業重新調查資訊，因此成本可以大幅降低。

三、全臺三維道路模型建置策略探討：

本案於期末階段的重點工作項目為三維道路模型建置成本之分析，並擬定兩種不同之全臺三維道路模型建置策略，策略一為依據道路等級逐年執行，優先建置高等級道路，建置完成後再建置一般道路。此策略優勢在於依據等級逐步建置，因此全臺各地逐年之成果較為一致，都是依據道路等級建置模型。策略二為混合道路等級與縣市執行，國道、快速道路以及省道為全臺灣整體建置，縣道以下的道路(縣道、鄉道及一般道路)則依照縣市逐年執行。此策略之用意為第一年即可以挑選某一縣市為代表區域，該區域於第一年即有完整之三維道路模型成果，後續可以作為示範案例。

成本分析之依據為利用本次試辦區實作成果之工時及經驗推估而得，但仍有部分因素可能影響整體成本之計算。

1. 路口切分自動化程度

路口切分為目前成本占比最高的項目，因為目前的半自動化處理後期仍需大量人力進行編修，若是此部分可以提高自動化程度，降低人力編修工時，則成本可以明顯下降。

2. 專案執行人力配置

因路口切分由人工進行編修時需要一定的作業經驗輔助判斷，因此作業前需經過培訓及教學，熟悉整體作業流程後才能達到穩定的產出成果。但若是熟稔整體作業流程後也可提高產出成果，因此若是能配置經驗豐富的作業人員也能降低成本。

3. 路口切分數量

路口切分數量影響到人力投入時間也因此影響到整體建置成

本，若是能在不影響三維道路模型分析功能的前提下降低路口切分數量，則同樣能有效降低成本，例如目前建議無路名道路間的路口不切分，若是拓展到產業道路間的路口不切分甚至是巷弄等級的道路不切分，都能達到降低成本的效果。因此在於建置成本以及後續分析功能上的應用之間需要找到平衡點，以達到建置全臺三維道路模型的最佳成效。

四、都市計畫區域使用千分之一地形圖道路資料探討：

本案使用之平面資料來源為臺灣通用電子地圖之道路資料，而臺灣都市計畫區域具有更高精度的千分之一地形圖，就本案的道路模型建置方法來說，兩種圖資來源最大的差異就是千分之一地形圖並沒有直接的道路面資料，僅有道路輪廓線資料；此外千分之一地形圖其道路屬性欄位也與電子地圖現有之屬性欄位不同，並未包含建置模型所需的道路類型與來源定義的屬性欄位。

雖然兩種圖資來源具有一定的差異，但是這些差異皆能透過額外的處理來克服，如道路輪廓線可以藉由道路中心線的路網來建置道路面。也可以藉由千分之一地形圖既有的欄位來分析其是否受遮蔽以及是否屬於平面道路。所以建置三維道路模型，其平面資料來源可以使用千分之一地形圖的道路資料，除了需要額外的處理之外，也需要另外評估其產置模型之幾何精度。

參考文獻

1. 內政部，2012。101 年度三維城市模型技術發展與更新機制工作方案案期末報告。
2. 內政部，2016。105 年度三維地形圖資技術發展工作方案案期末報告。
3. 內政部，2013。三維道路模型建置作業手冊。
4. 內政部，2018。三維地形圖資測製技術指引(初稿)。
5. 內政部，2019。108 年度三維地形圖資技術發展工作方案案期末報告。
6. 陳良健，2007。整合光達資料與二維路網重建三維道路模型。
7. OGC, 2012. OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding.
8. Aien, A., Kalantari, M., Rajabifard, A., Williamson, I., Bennett, R., 2011. Advanced principles of 3D cadastral data Modeling.
9. Arens, C., Stoter, J., Van Oosterom, P., 2005. Modeling 3D spatial objects in a geo-DBMS using a 3D primitive. *Computers & Geosciences* 31, 165-177.
10. Atazadeh, B., Kalantari, M., Rajabifard, A., Ho, S., Ngo, T., 2016. Building information Modeling for high-rise land administration. *Transactions in GIS*.
11. Basanow, J., Neis, P., Neubauer, S., Schilling, A., Zipf, A., 2008. Towards 3D spatial data infrastructures (3D-SDI) based on open standards—experiences, results and future issues, *Advances in 3D geoinformation systems*. Springer, 65-86.
12. Benhamu, M., Doytsher, Y., 2003. Toward a spatial 3D cadastre in Israel. *Computers, Environment and Urban Systems* 27, 359-374.
13. Beil C, Kolbe TH (2017) CityGML and the streets of New York - a proposal for detailed street space modelling. In: *Proceedings of the 12th 3D GeoInfo conference 2017, Melbourne, Australia, 26–27 October 2017. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. IV-4/W5*, pp 9–16.
14. Biljecki, F., Stoter, J., Ledoux, H., Zlatanova, S., Çöltekin, A., 2015. Applications of 3D city models: state of the art review. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 4, 2842-2889.
15. Billen, R., Zlatanova, S., 2003. 3D spatial relationships model: a useful concept for 3D cadastre? *Computers, Environment and Urban Systems* 27, 411-425.
16. Breunig, M., Zlatanova, S., 2011. 3D geo-database research: Retrospective and future directions. *Computers & Geosciences* 37, 791-803.
17. Chaturvedi, K., Kolbe, T.H., 2015. Dynamizers: modeling and implementing dynamic properties for semantic 3d city models, *Proceedings of the Eurographics Workshop on Urban Data Modeling and Visualisation*. Eurographics Association, 43-48.
18. de Kleijn, M., de Hond, R., Martinez-Rubi, O., 2016. A 3D spatial data infrastructure for mapping the Via Appia. *Digital Applications in Archaeology*

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案

- and Cultural Heritage 3, 23-32.
19. Goos, J., Boersma, A., Mulder, A., Zlatanova, S., 2012. 3D spatial data infrastructure, CESUN 2012: 3rd International Engineering Systems Symposium, Delft University of Technology, The Netherlands, 18-20 June 2012.
 20. Guo, R., Li, L., Ying, S., Luo, P., He, B., Jiang, R., 2013. Developing a 3D cadastre for the administration of urban land use: A case study of Shenzhen, China. *Computers, Environment and Urban Systems* 40, 46-55.
 21. Häberling, C., Bär, H., Hurni, L., 2008. Proposed cartographic design principles for 3D maps: a contribution to an extended cartographic theory. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization* 43, 175-188.
 22. Ho, S., Rajabifard, A., 2016. Towards 3D-enabled urban land administration: Strategic lessons from the bim initiative in singapore. *Land Use Policy* 57, 1-10.
 23. Kolbe, T.H., Gröger, G., Plümer, L., 2005. CityGML: Interoperable access to 3D city models, *Geo-information for disaster management*. Springer, 883-899.
 24. K. H. Soon, V. H. S. Khoo, "Citygml modelling for singapore 3d national mapping", *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLII-4/W7, pp. 37-42, 2017.
 25. Lemmen, C., Van Oosterom, P., 2013. The land administration domain model standard, *Proceedings 5th Land Administration Domain Model Workshop*, Kuala Lumpur, Malaysia, 24-25 September 2013. FIG.
 26. Lemmen, C., Van Oosterom, P., Bennett, R., 2015. The land administration domain model. *Land Use Policy* 49, 535-545.
 27. Meijers, M., Zlatanova, S., Pfeifer, N., 2005. 3D geoinformation indoors: structuring for evacuation, *Proceedings of Next generation 3D city models*, pp. 21-22.
 28. Pouliot, J., Daniel, S., Hubert, F., Zamyadi, A., 2013. Progress and new trends in 3D geoinformation sciences. Springer.
 29. Rahmatizadeh, S., Kalantari, M., Rajabifard, A., Ho, S., Daneshpour, A., 2016a. How VGI intersects with land administration.
 30. Rahmatizadeh, S., Rajabifard, A., Kalantari, M., 2016b. A conceptual framework for utilising VGI in land administration. *Land Use Policy* 56, 81-89.
 31. Rajabifard, A., 2014 "3D cadastres and beyond." 4th International Workshop on 3D Cadastres, FIG. 1-16.
 32. Rajabifard, A., Escobar, F., Williamson, I.P., 2000. Hierarchical spatial reasoning applied to spatial data infrastructures. *Cartography* 29, 41-50.
 33. Singapore Land Authority, 2013. Standard and specifications for 3D topographic surveying (mapping) in Singapore, Singapore.
 34. Stoter, J., 2004. 3D cadaster, PhD thesis, Delft University of Technology, The Netherlands. 1-342.
 35. Stoter, J., Ploeger, H., van Oosterom, P., 2013. 3D cadastre in the Netherlands: developments and international applicability. *Computers, Environment and*

108 年度三維道路模型資料建置試辦採購案

- Urban Systems 40, 56-67.
36. Stoter, J., Streilein, A., Pla, M., Baella, B., Capstick, D., Home, R., Roensdorf, C., Lagrange, J., 2013. Approaches of national 3D mapping: Research results and standardisation in practice, 8th 3DGeoInfo Conference & WG II/2 Workshop, Istanbul, Turkey, 27–29 November 2013, ISPRS Archives Volume II-2/W1. ISPRS.
 37. Thompson, R., Van Oosterom, P., 2011. Modeling and validation of 3D cadastral objects. Urban and regional data management–UDMS annual.
 38. Uden, M., Zipf, A., 2013. Open building models: towards a platform for crowdsourcing virtual 3D cities, Progress and New Trends in 3D Geoinformation Sciences. Springer, 299-314.
 39. van Oosterom, P., 2012. Summary of the Third International FIG Workshop on 3D Cadastres–Developments and Practices, Third International FIG Workshop on 3D Cadastres–Developments and practices, Shenzhen, China.
 40. van Oosterom, P., 2013. Research and development in 3D cadastres. Computers, Environment and Urban Systems 40, 1-6.
 41. Van Oosterom, P., Stoter, J., 2010. 5D data Modeling: full integration of 2D/3D space, time and scale dimensions, Geographic information science. Springer, 310-324.
 42. Van Oosterom, P., Stoter, J., Lemmen, C., 2005. Modeling of 3D cadastral systems, 28th cadastral seminar, 594-606.
 43. Zhang, J.-y., Yin, P.-c., Li, G., Gu, H.-h., Zhao, H., Fu, J.-c., 2016. 3D cadastral data model based on conformal geometry algebra. ISPRS International Journal of Geo-Information 5, 20.
 44. Zlatanova, S., Nourian Ghadikolaee, P., Gonçalves, R., Vo, A.V., 2016. Towards 3D raster GIS: On developing a raster engine for spatial DBMS, ISPRS WG IV/2 Workshop" Global Geospatial Information and High Resolution Global Land Cover/Land Use Mapping" Novosibirsk, Russian Federation, 21 April 2016.
 45. Zlatanova, S., Rahman, A. A., Pilouk, M., 2002a. 3D GIS: current status and perspectives. International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences 34, 66-71.
 46. Zlatanova, S., Rahman, A. A., Shi, W., 2004. Topological models and frameworks for 3D spatial objects. Computers & Geosciences 30, 419-428.



內政部國土測繪中心

地址：臺中市南屯區黎明路 2 段 497 號 4 樓

網址：www.nlsc.gov.tw

總機：(04) 22522966

傳真：(04) 22592533