



石門水庫至新竹聯通管工程

地質調查成果報告 (第一版)



主辦機關：經濟部水利署北區水資源局

中華民國 111 年 11 月

石門水庫至新竹聯通管工程

地質調查成果報告

中華民國111年11月

經濟部水利署北區水資源局



廉潔、效能、便民



經濟部水利署北區水資源局

地址：桃園市龍潭區佳安里佳安路 2 號

總機：(03)4712001

傳真：(03)4712232

石門水庫至新竹聯通管工程

文件送審管制表

文件名稱：地質調查成果報告(第一版)

送審版次	提送日期及文號	審查日期及文號	審查意見	意見回覆
第一版	111 年 月 日 地工字第 號	-		
	(以下空白)			

目 錄

	頁次
第一章 前言.....	1
第二章 計畫區概況	10
2.1 區域地形.....	10
2.2 區域地質.....	11
2.2.1 地層特性.....	11
2.2.2 地質構造.....	14
2.2.3 活動斷層與地震	15
2.3 鄰近既有地質紀錄資料	16
2.3.1 隧道段.....	16
2.3.1 明挖覆蓋段、推管段及水管橋	20
2.4 環境地質及地質敏感區	21
2.4.1 環境地質.....	21
2.4.2 地質敏感區.....	22
第三章 地質調查與試驗成果	24
3.1 地表地質調查.....	24
3.2 地電阻剖面探查.....	32
3.2.1 探查配置.....	32
3.2.2 探查成果.....	33
3.3 地質鑽探.....	35
3.3.1 鑽探配置.....	35
3.3.2 鑽探成果.....	37
3.4 現地及室內試驗.....	47
3.4.1 現地試驗.....	47
3.4.1 室內試驗.....	48
3.5 地下水位量測.....	56
第四章 隧道段工程地質分析與綜合評估	58
4.1 地質條件.....	58
4.1.1 隧道進口.....	58
4.1.2 隧道出口.....	58
4.1.3 隧道沿線.....	59
4.1.4 施工橫坑.....	62
4.2 工程地質分析.....	63

4.2.1 試驗成果統計.....	63
4.2.2 岩體類別分布.....	65
4.3 隧道特殊地質評估.....	67
4.3.1 擠壓性地盤.....	67
4.3.2 湧水性地盤.....	70
4.3.3 有害性氣體地盤	72
4.3.4 斷層破碎帶.....	74
4.3.5 特殊地質處理對策	75
4.4 工程地質綜合評估.....	78
4.4.1 隧道段.....	78
4.4.2 橫坑.....	80
第五章 明挖覆蓋段工程地質分析與綜合評估	81
5.1 地質條件.....	81
5.1.1 竹 28-1 鄉道	81
5.1.2 台 3 線.....	82
5.1.3 上坪溪左岸高灘地	83
5.2 工程地質綜合評估.....	83
5.2.1 竹 28-1 鄉道	83
5.2.2 台 3 線.....	84
5.2.3 上坪溪左岸高灘地	85
第六章 推管段工程地質分析與綜合評估	86
6.1 地質條件.....	86
6.1.1 里程 15K+394~16K+393	86
6.1.2 里程 17K+625 至 17K+780	88
6.1.3 里程 20K+179 至 20K+241	88
6.2 試驗成果統計.....	89
6.3 工程地質綜合評估.....	92
6.3.1 里程 15K+394~16K+393	92
6.3.2 里程 17K+625 至 17K+780	92
6.3.3 里程 20K+179 至 20K+241	92
第七章 水管橋段工程地質分析與綜合評估	93
7.1 地質條件.....	93
7.1.1 油羅溪水管橋.....	93
7.1.2 竹東水管橋.....	94
7.2 試驗成果統計.....	94
7.3 工程地質綜合評估.....	96

7.3.1 油羅溪水管橋.....	96
7.3.2 竹東水管橋.....	96

附錄一	鑽孔柱狀圖
附錄二	彩色岩心照片
附錄三	岩盤透水試驗成果
附錄四	土壤試驗成果
附錄五	岩石試驗成果

表 目 錄

表 1-1	隧道段地質調查數量表.....	6
表 1-1	隧道段地質調查數量表(續).....	7
表 1-2	明挖段及推管段地質調查數量表	7
表 1-2	明挖段及推管段地質調查數量表(續).....	8
表 1-3	水管橋段地質調查數量表	8
表 1-3	水管橋段地質調查數量表(續).....	9
表 3-1	隧道段地質調查數量表.....	32
表 3-2	地質鑽探調查數量表.....	36
表 3-3	岩盤透水試驗成果表.....	47
表 3-4	土壤一般物理性質試驗成果表	49
表 3-5	岩石一般物理性質試驗成果表	50
表 3-6	岩石單軸壓縮試驗成果表	51
表 3-7	岩石弱面直剪試驗成果表	53
表 3-8	岩石三軸壓縮試驗成果表	54
表 3-9	岩石靜、動試驗成果表.....	55
表 3-10	地下水位觀測紀錄表.....	56
表 4-1	隧道沿線地層岩石力學參數表	64
表 4-2	隧道段基本設計階段岩體分類評估表	66
表 4-3	工程會建議設計階段擠壓性地盤評級表	67
表 4-4	隧道段擠壓性地盤評級成果表	70
表 4-5	工程會建議設計階段湧水性地盤評級表	71
表 4-6	隧道段湧水性地盤評級成果表	72
表 4-7	工程會建議設計階段有害性氣體地盤評級表	73
表 4-8	隧道段有害性氣體地盤評級成果表	73
表 4-9	工程會建議設計階段斷層破碎帶地盤評級表	74
表 4-10	隧道段斷層破碎帶地盤評級成果表	75
表 4-11	設計階段對於特殊地質之評級標準及對策表	76
表 6-1	推管段(里程 15K+394~16K+393)地層岩石力學參數表	90
表 6-2	推管段(里程 17K+625 至 17K+780)地層岩石力學參數表	91
表 6-3	推管段(里程 20K+179 至 20K+241)地層岩石力學參數表	91
表 7-1	油羅溪水管橋簡化土層參數表	95
表 7-2	竹東水管橋簡化土層參數表	95

圖目錄

圖 1-1	石門水庫至新竹聯通管工程平面布置圖(規劃階段).....	2
圖 1-2	本計畫路線位置圖(改).....	3
圖 2-1	計畫路線區域地形圖.....	10
圖 2-2	計畫路線區域地質圖.....	11
圖 2-3	計畫路線鄰近活動斷層/孕震構造分布圖	16
圖 2-4	隧道段鄰近既有鑽孔分布圖	17
圖 2-5	BH-7 鑽孔柱狀圖(摘自石門水庫增設取水工程地質調查與鑽探試驗報告).....	18
圖 2-6	BH-3 鑽孔柱狀圖(摘自地調所工程地質探勘資料庫).....	20
圖 2-7	明挖覆蓋段、推管段及水管橋鄰近鑽孔分布圖	21
圖 2-8	計畫區域環境地質圖.....	22
圖 2-9	計畫區域環境地質圖.....	23
圖 3-1	隧道沿線地表地質調查位置圖	24
圖 3-2	隧道沿線地表地質調查露頭照片	27
圖 3-3	隧道沿線地表地質調查成果圖	28
圖 3-4	上坪溪左岸高灘地地表地質調查位置圖	30
圖 3-5	上坪溪左岸高灘地地表地質調查露頭照片	31
圖 3-6	地電阻影像剖面測線探查位置	32
圖 3-7	地電阻影像剖面測線 RIP-1 探查成果圖	33
圖 3-8	地電阻影像剖面測線 RIP-2 探查成果圖	34
圖 3-9	隧道段地質鑽探調查位置圖	35
圖 3-10	明挖覆蓋段、推管段及水管橋地質鑽探調查位置圖	35
圖 4-1	隧道段地質平剖面圖.....	61
圖 4-2	施工橫坑地質平剖面圖	62
圖 4-3	隧道擠壓潛能分析圖.....	69
圖 4-4	隧道湧水潛能分析圖.....	72
圖 4-5	隧道段工程地質剖面圖	79
圖 5-1	竹 28-1 鄉道地質鑽探位置圖	81
圖 6-1	推管段(里程 15K+394~16K+393)地質剖面圖	87
圖 6-2	推管段(里程 17K+625~17K+780)地質剖面圖	88
圖 6-2	推管段(里程 20K+179~20K+241)地質剖面圖	89
圖 7-1	油羅溪水管橋地質剖面圖	93
圖 7-2	竹東水管橋地質剖面圖	94

第一章 前言

1.1 計畫緣起

台灣因地形條件因素，坡陡流急水資源不易留存，近年來受全球氣候變遷影響，極端降雨及乾旱事件頻傳，因此提升水資源運用效率，強化區域水源調度為當前穩定供水重要工作。受水資源的條件限制，過去主要是以河川流域的分水嶺為界，分區就地供水，為提高供水穩定，水利署將各區域水資源串接，於民國 110 年提出「珍珠串計畫」，藉此打通各區域供水瓶頸、擴大互相支援，強化台灣西部供水管網韌性。

新竹地區於 110 年上半年旱象期間，其主要供水水源-寶山第二水庫之蓄水率最低僅餘約 2.6%，供水情勢極度吃緊，考量新竹地區為我國產業重鎮，須強化新竹地區整體水資源供應之穩定性及備援率，以維持民生及產業供水穩定。爰此，經濟部水利署規劃石門水庫至新竹聯通管工程，使石門水庫原水可支援新竹寶山-寶二水庫及竹東圳，提升原水調度與備援能力，未來配合板二計畫供水調度能力提升及南北桃聯通管等清水系統改善，將可透過原水及清水北水南送，達到整體水資源聯合運用之效果。

本聯通管屬「珍珠串計畫」重要環節之一，為加速推動，經濟部水利署北區水資源局(以下簡稱北水局)爰成立「石門水庫至新竹聯通管工程基本設計及施工諮詢」委託服務案(以下簡稱本計畫)辦理基本設計、細部設計審查及施工諮詢等工作，以期順利推動本工程。

本項「地質調查成果報告」係屬基本設計工作項目之一，中興工程顧問股份有限公司(以下簡稱本公司)爰依契約規定提出成果報告。

1.2 計畫概述

依據前階段可行性規劃報告(民國 111 年 4 月，水規所)以及行政院核定之「石門水庫至新竹聯通管工程」計畫(民國 111 年 5 月)，本計畫輸水管線平面圖如圖 1-1，輸水管線由石門水庫分層取水之既有中線鋼管分歧新設 $\phi 2,000\text{mm}$ 輸水管，取水後由隧道送水通過石門山，再沿竹 28-1 鄉道轉台

3 線於道路下方埋管，另以鋼管形式分別設置水管橋通過鳳山溪、油羅溪及上坪溪後，於上坪溪高灘地埋管，再轉至東峰路(122 縣道)或沿堤防道路埋設，至寶山第二水庫之引水隧道前跌水工止，管路設計輸水能力為 30 萬 CMD。

其中道路埋管段沿線有過河等橫交構造物穿越，故有水管橋、閘體等附屬設施，管線總長度約 25.5 公里(含隧道段、明挖覆蓋段、推管段及水管橋)。另於沿途適當地點施作電動閘、制水閘、排氣閘、排水閘、減壓閘及檢查人孔等，以便日後操作維護，工程期程自民國 111 年起至 115 年。



圖 1-1 石門水庫至新竹聯通管工程平面布置圖(規劃階段)

1.3 工作範圍

本聯通管路線長度約 25.5 公里，依施工方式可分為：(1)隧道段，進口位於石門水庫中線道路，往西南西延伸途經石門山、太平山等區域，後接至竹 28-1 鄉道附近出洞，全長約 3.4 公里，包含一條施工橫坑；(2)明挖覆蓋段，於竹 28-1 鄉道銜接隧道出口，後沿台 3 線往南至竹東，全長約 21

公里；(3)推管段，聯通管受地形及橫交構造物等因素，分別於里程15K+394~16K+393、17K+625~17K+780及20K+179~20K+241以推管方式通過；(4)水管橋，計畫路線共包含10座水管橋，其中跨越油羅溪及上坪溪由於跨距較大，故需要落墩。各工程段位置如圖1-2所示。



圖 1-2 本計畫路線位置圖(改)

1.4 工作項目及內容

依據本計畫委託服務說明書，於計畫路線及用地範圍內，進行地質調查，主要工作項目說明如後。

一、地表地質調查

針對本計畫路線沿線範圍進行地表地質資料複核，初步分析研判計畫路線及鄰近區域之地質狀況，以作為綜合評估之基礎。

二、地電阻剖面影像探查

針對隧道段進行調查，以了解地電阻影像所呈現之地層構造，並進行地層厚度、地下地質構造等綜合判釋。由於計畫路線隧道段大致與石門斷

層呈小角度斜交，斷層破碎帶之範圍將高度影響本工程之工期與預算，故本計畫配置兩條與斷層走向正交之地電阻測線(探查長度分別為 540、360 公尺)，並配合鑽探成果以推估石門斷層破碎帶之位置及其影響範圍。

三、地質鑽探

因應計畫路線施工工法以及探查目的，將本項目分為隧道段、明挖覆蓋段、主要推管段以及水管橋段，進行地質鑽探作業，鑽孔尺寸為 HQ 並全程取樣(包含土壤、礫石及岩盤)，以了解地層性質及其工程特性。各分段配置說明如下：

1. 隧道段

進口大致位於中線鋼管路，主隧道向西南延伸至竹 28-1 道路，全長約 3.4 公里，並包含一條長約 570.9 公尺之施工橫坑。考量探查需求、既有鑽孔位置與調查布設可行性，本段共配置 1 孔水平鑽探與 5 孔垂直鑽探，探查深度合計 405 公尺。

2. 明挖覆蓋段

考量輸水管埋設深度(約 3 公尺)、臨時擋土支撐設計等因，本段預計每 1 公里配置 1 處地質鑽探，每處 8 公尺。其中，BH-37 因考量調整池配置，故將孔深加長至 15 公尺；另因台 3 線經沙坑村路寬縮減，故將 BH-18 孔深調整至 20 公尺，保留本段路線設計推管通過之彈性。本段共配置 14 處鑽孔、探查深度合計 131 公尺。

3. 推管段

考量工程性質、推管深度以及工作井位置，本段配合推管工作井位置設置地質鑽探，每處 15~20 公尺，共 6 處鑽孔、探查深度合計 110 公尺。

4. 水管橋

計畫路線於跨越油羅溪及上坪溪時，由於跨距較大，水管橋有落墩需求，故於此二座橋各配置 4 孔，深度皆為 30 公尺之地質鑽探。本段共 8 處鑽孔、探查深度合計 240 公尺。

四、現地及室內試驗

1. 現地試驗

- (1) 配合垂直鑽孔辦理標準貫入試驗，以求取土層/卵礫石層之工程特性。
- (2) 配合隧道段垂直鑽孔辦理現地透水試驗，以求取代表性岩體之滲透係數。

2. 室內試驗

本工作項目包含土壤一般物理性質試驗、土壤直接剪力試驗、土壤單軸壓縮試驗、土壤三軸壓縮試驗、岩石一般物理性質試驗、岩石單軸強度試驗、岩石弱面直剪試驗、岩石三軸壓縮試驗以及岩石靜、動彈性試驗。試驗數量及位置將配合土層及岩層之取樣狀況彈性調整。

五、地下水位量測

本工作項目係為了解地下水位變化情形，以作為後續工程設計參考。本計畫於各垂直鑽孔皆規劃設置水位觀測井，共計 34 孔，觀測期間為觀測井安裝完成後至少 14 天。

1.5 工作完成數量

本工作依現場施作狀況調整調查配置，並根據核定之調查計畫書辦理，工作完成數量統計如表 1-1~1-3。

表 1-1 隧道段地質調查數量表

項次	項目	單位	契約數量	規劃數量	完成數量
一	地質資料蒐集及地表地質調查、探查作業督導				
1	地質資料蒐集整理	式	1	1	1
2	地表地質調查	式	1	1	1
3	探查作業督導	式	1	1	1
二	地質鑽探				
1	人員及機具動員費	式	1	1	1
2	一般地形移孔及設備組立費	孔	7	8	6
3	困難地形移孔及設備組立費	孔	2	1	0
4	土層進尺費(垂直孔)	公尺	8	12	2.8
5	塊礫石層進尺費(垂直孔)	公尺	30	32	39.7
6	岩層進尺費(垂直孔)	公尺	587	406	302.5
7	土層進尺費(傾斜孔)	公尺	1	8	0
8	塊礫石層進尺費(傾斜孔)	公尺	5	12	25.2
9	岩層進尺費(傾斜孔)	公尺	94	160	34.8
10	岩心判釋	公尺	725	630	405
11	薄管取樣	支	2	4	0
12	給(接)水費	孔	9	9	6
13	標準貫入試驗(SPT)	次	3	25	18
14	劈管取樣	組	3	25	1
15	地下水位觀測井安裝及觀測	孔	7	6	5
16	孔位放樣測量標定	孔	9	9	5
17	岩心箱(含彩色照片)	箱	184	158	101
18	岩盤透水試驗(Lugeon)	組	8	8	7
19	鑽探配合費(含地上物補償，安全措施費，樣品與岩心箱運送費，復舊，相關保險費等)	孔	9	9	6

表 1-1 隧道段地質調查數量表(續)

項次	項目	單位	契約數量	規劃數量	完成數量
三	地球物理探查				
1	地電阻影像剖面 RIP	公尺	900	900	900
2	測線測量	公尺	900	900	900
四	實驗室試驗				
(一)	土壤力學試驗				
1	土壤一般物理性質試驗	組	2	25	1
2	土壤直接剪力試驗	組	1	1	0
3	土壤單軸壓縮強度試驗	組	1	1	0
(二)	岩石力學試驗				
1	岩石一般物理性質試驗	組	17	17	10
2	岩石單壓強度試驗	組	17	17	12
3	岩石弱面直剪試驗	組	15	15	10
4	岩石三軸壓縮試驗	組	6	6	3
5	岩石靜、動彈性試驗	組	12	12	7

表 1-2 明挖段及推管段地質調查數量表

項次	項目	單位	契約數量	規劃數量	完成數量
一	地質鑽探調查				
1	人員機具動員費	式	1	1	1
2	一般土壤進尺費	公尺	110	52	18.05
3	卵礫石層進尺費	公尺	30	91	92.45
4	岩盤進尺費	公尺	30	72	130.5
5	標準貫入試驗	次	115	89	80
6	劈管取樣	次	115	89	18
7	薄管取樣	組	6	8	0
8	鑽探配合費(含地上物補償，安全措施費，樣品與岩心箱運送費，復舊，相關保險費等)	孔	20	20	20
9	岩心箱(含彩色照片)	箱	45	54	59

表 1-2 明挖段及推管段地質調查數量表(續)

項次	項目	單位	契約數量	規劃數量	完成數量
二	試驗室試驗				
1	土壤一般物理性試驗	組	115	89	18
2	土壤直接剪力試驗	組	6	4	0
3	土壤三軸壓縮試驗	組	3	4	0
4	岩石一般物理性質試驗	組	0	0	12
5	岩石單壓強度試驗	組	0	0	10
6	岩石弱面直剪試驗	組	0	0	9
7	岩石三軸壓縮試驗	組	0	0	4
8	岩石靜、動彈性試驗	組	0	0	4
三	現地試驗				
1	水位觀測井	孔	20	20	20

表 1-3 水管橋段地質調查數量表

項次	項目	單位	契約數量	規劃數量	完成數量
一	地質鑽探調查				
1	人員機具動員費	式	1	1	1
2	一般土壤進尺費	公尺	40	48	0
3	卵礫石層進尺費	公尺	160	112	113.77
4	岩盤進尺費	公尺	40	80	126.23
5	標準貫入試驗	次	160	104	71
6	劈管取樣	次	160	104	1
7	薄管取樣	組	8	8	0
8	鑽探配合費(含地上物補償，安全措施費，樣品與岩心箱運送費，復舊，相關保險費等)	孔	8	8	8
9	岩心箱(含彩色照片)	箱	60	64	64

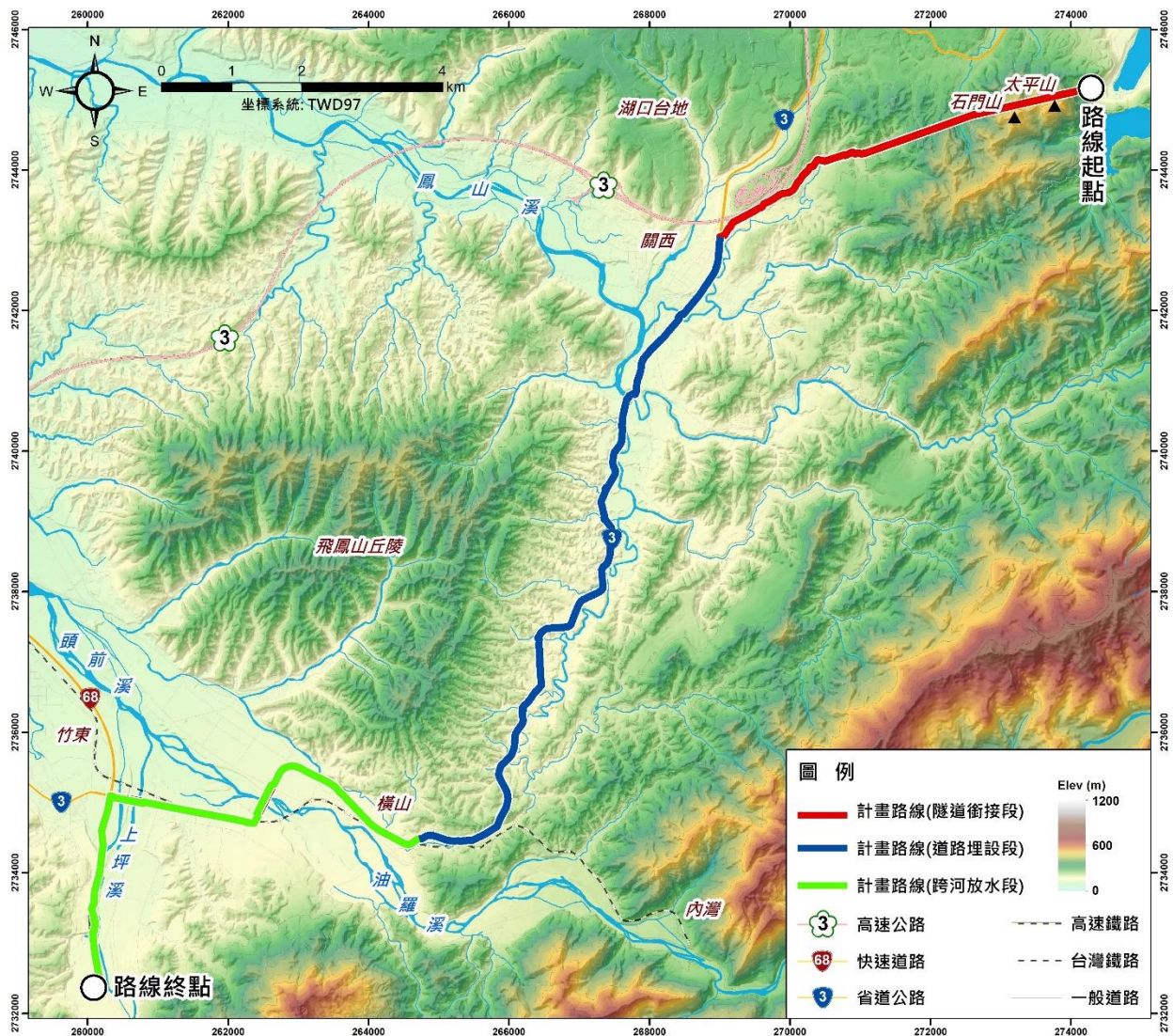
表 1-3 水管橋段地質調查數量表(續)

項次	項目	單位	契約數量	規劃數量	完成數量
二	試驗室試驗				
1	土壤一般物理性試驗	組	13	104	0
2	土壤直接剪力試驗	組	8	4	0
3	土壤三軸壓縮試驗	組	8	4	0
4	岩石一般物理性質試驗	組	128	16	16
5	岩石單壓強度試驗	組	8	4	14
6	岩石弱面直剪試驗	組	8	4	14
7	岩石三軸壓縮試驗	組	8	4	0
8	岩石靜、動彈性試驗	組	8	4	0
三	現地試驗				
1	水位觀測井	孔	8	8	8

第二章 計畫區概況

2.1 區域地形

計畫路線自石門水庫左壩座下池西側邊坡起，以隧道方式穿越太平山、石門山後，沿既有產業道路南延，經湖口台地東南側，進入鳳山溪流域及其支流，沿台 3 線道路之路段主要以推管或明挖覆蓋或水管橋方式方式往南延伸，路線於橫山一帶轉為東西向，並以水管橋方式跨越頭前溪支流油羅溪與上坪溪，最後於竹東附近之上坪溪左岸高灘地往南轉向，連接至寶二水庫引水渠道止。路線主要位於西部麓山帶或沿河流兩側，多為高程 EL. 600m 以下之丘陵及河谷地形，整體地勢由東北向西南緩降，區域地形請參閱圖 2-1。



2.2 區域地質

計畫路線套繪經濟部中央地質調查所(後稱地調所, 2013)《易淹水地區上游集水區地質調查及資料庫建置計畫》, 並參考五萬分之一地質圖幅-中壢(塗明寬、邵屏華, 2001)及竹東(塗明寬、黃文政, 1991)與中國石油公司(現為台灣中油公司)之桃園-新竹圖幅及苗栗圖幅(1994), 區域地質圖如圖 2-2 所示, 地層及地質構造特性說明如後。

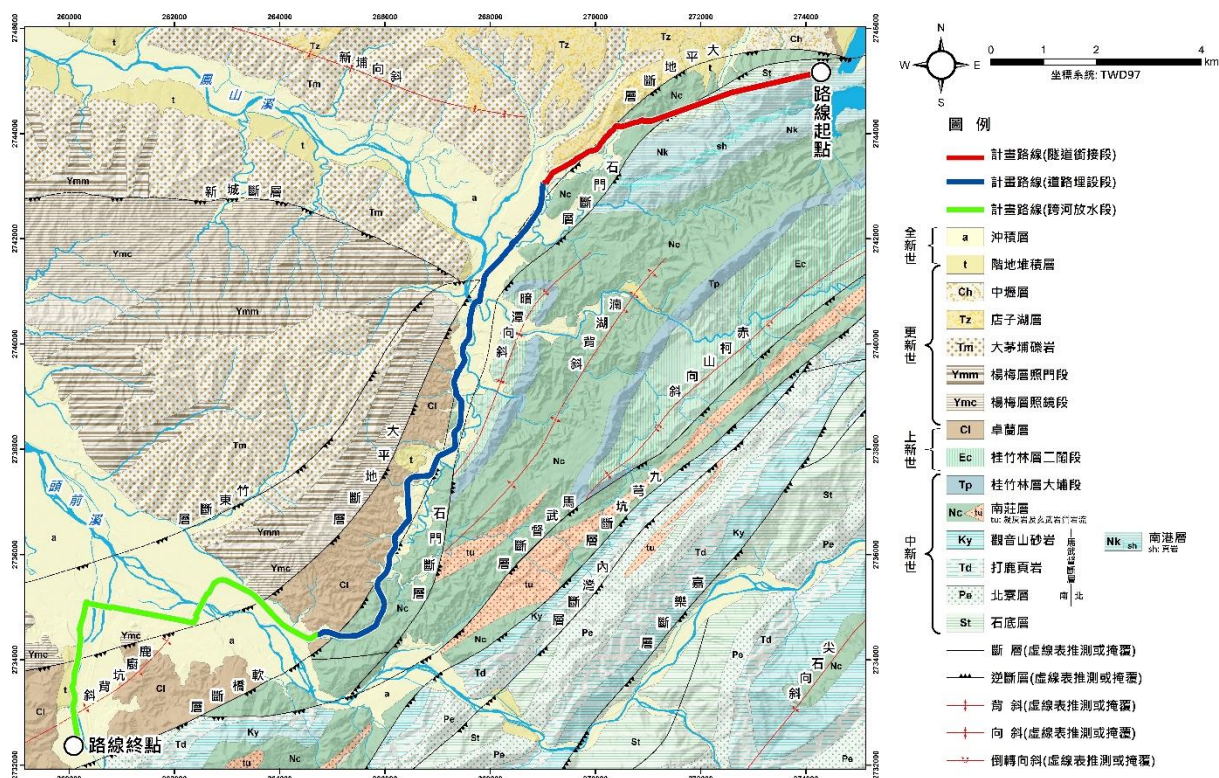


圖 2-2 計畫路線區域地質圖

2.2.1 地層特性

本計畫路線沿線地層由老至新為中新世之石底層(St)、南港層(Nk)、南莊層(Nc); 上新世之卓蘭層(Cl); 更新世之楊梅層照鏡段(Yc)、楊梅層照門段(Ym)、大茅埔礫岩(Tm); 以及全新世之階地(t)堆積層與沖積層(a)。其中, 隧道段大都屬於石底層(St)、南港層(Nk)、南莊層(Nc)、沖積層(a); 推管段、明挖覆蓋段及水管橋則屬於南莊層(Nc)、卓蘭層(Cl)、楊梅層照鏡段(Yc)、楊梅層照門段(Ym)、大茅埔礫岩(Tm)、全新世之階地(t)堆積層與沖積層(a), 各地層特性說明如下:

一、石底層(St)

石底層岩性以厚層或中厚層，淡灰色或黃灰色細粒至中粒砂岩為主，夾有薄層頁岩及砂、頁岩互層，常夾黑色頁岩之薄葉層而呈條紋狀構造，砂岩層之層厚約為 10~40 公分，少數厚達 1~2 公尺者，岩質堅硬緻密，層理發達，層面多含煤碎片、碳質物、雲母碎片及植物痕跡；本層分佈於石門斷層上盤側。本層為本區最主要產煤地層，含五層可採煤層，除本層煤在各礦皆可開採外，其他以開採中煤層及下煤層較多，煤層厚度以本層煤最厚，一般約為 0.45~0.6 公尺，其他四煤層之厚度變化甚大，平均可採厚度在 0.3~0.6 公尺之間。

二、南港層(Nk)

南港層可分成三段，下段以青灰色及淡灰色厚層塊狀、細粒至中粒、鈣質或泥質之砂岩為主，夾有深灰色頁岩，偶夾薄層砂岩，塊狀之鈣質砂岩抗蝕力強，常構成懸崖峭壁；中段以深灰色頁岩為主，夾有砂質頁岩及泥質或鈣質細粒砂岩，厚約 100~200 公尺，富含各種小型有孔蟲化石；上段以厚層之細粒至中粒砂岩間夾頁岩及砂岩之薄互層組成，砂岩緻密堅硬，含少量之鈣質，每層厚 1~3 公尺，含貝類及有孔蟲化石；主要分佈於石門水庫北岸厚度約 600~900 公尺。

三、南莊層(Nc)

南莊層依岩性可分為上、下二部，下部為薄條紋狀砂岩與頁岩及薄層狀砂岩之互層，間夾厚層砂岩，含有五層煤層，各層厚度多在 10 公分以下，因厚度薄，連續性不佳，一般缺乏開採價值；上部則以白砂岩為主，並含有薄層砂岩與頁岩互層，白砂岩呈塊狀厚層，各層厚度相差頗大，薄者二、三公尺，厚者 30~40 公尺，各層之厚度富於變化，常沿走向漸薄至無。上部南莊層含有三層煤層，由上而下之第三層稱為本層煤，厚度平均約在 50 公分左右，但局部有厚達一公尺以上者，為本區煤礦主要開採對象。

四、卓蘭層(CI)

卓蘭層主要由砂岩和泥岩之互層組成。砂岩層平均厚度在1公尺左右，偶有達3~5公尺。砂岩呈淺灰色、淡青灰色及黃灰色等，主要為細粒之亞混濁砂岩及混濁砂岩和少量的原石英砂岩，膠結疏鬆，以手搓之即散落，局部含有鐵質；泥岩一般含砂質，呈淺灰色，亦有部份呈青灰色，則其質較為純淨；本層經常富含煤碎片(漂流木)及海膽、貝類、蟹和少量之有孔蟲化石。

五、楊梅層

1. 楊梅層照鏡段(Yc)

楊梅層照鏡段由厚層砂岩、泥岩、砂岩及泥岩互層所組成。本段砂岩所佔厚度約為泥岩之兩倍；下部以砂岩為主，愈往上部則砂岩佔比漸少，至本段頂部砂岩與泥岩比例約略相等。

2. 楊梅層照門段(Ym)

楊梅層照門段以礫岩、砂岩及泥岩之互層組成。本段礫岩自下而上所佔比例漸次增加，其粒徑大小自數公分至數十公分，基質則以泥質材料為主；砂岩呈淺灰或淺黃色，粒徑為細粒至粗粒，膠結疏鬆。

六、大茅埔礫岩(Tm)

本層主要由礫岩組成，偶含透鏡狀砂岩。礫岩材料多為石英岩或砂岩，少數為火成岩及砂質頁岩；礫石粒徑由數公分至一公尺不等，膠結物則多為細砂或含有鐵質或鈣質。

七、階地堆積層(t)

本層由未固結之礫石、砂及泥組成，厚度變化大，厚者可達十數公尺，主要分布於後池堰兩岸，以及頭前溪及其支流河岸兩側。

八、沖積層(a)

本層由未固結之礫石、砂及泥組成，厚度變化大，厚者可達十數公尺，主要分布於後池堰下游之大漢溪河床、石門水庫庫區、打鐵坑溪、頭前溪及其支流河床。

2.2.2 地質構造

計畫區域主要屬東北-西南走向之覆瓦狀構造區，穿越計畫路線之地質構造包含通過隧道段之石門斷層；通過明挖覆蓋段及推管段之大平地斷層、軟橋斷層及鹿廚坑背斜。各構造特性與路線關係說明如下：

一、石門斷層

為一向東南傾斜之逆斷層，由石門水庫左壩座附近以近東西向轉為東北西南向，並以西南走向往南延伸至關西鎮東側附近後，轉為南北向延伸至油羅溪上游，並受到馬武督斷層所截切，全長約 14 公里。斷層面傾角約 60~70 度(徐鐵良，1960)，斷層上盤為石底層、南港層及南莊層；斷層下盤則為南莊層，而本計畫路線主要以隧道段與該斷層近平行，且於隧道出水口前附近與本斷層交會，整體而言，隧道段大都位於該斷層上盤。

二、大平地斷層

本斷層位於石門斷層西側，為逆移斷層，可以分為南、北 2 段(林啟文等，2007)：北段約呈北北東走向，由桃園縣石門向南延伸至新竹縣橫山鄉(耿文溥，1957)，長約 16 公里；南段呈東北東走向，由新竹縣橫山鄉附近向南延伸至峨眉鄉，長約 9 公里，位於斷層北段上盤為南莊層或卓蘭層；下盤則為店子湖層或楊梅層照鏡段，而本計畫路線主要位於該斷層北段，於關西休息站以東至關西鎮，以近平行方式與該斷層交錯；油羅溪及上坪溪則以近垂直方式與該斷層交錯。此外，本斷層於關西附近呈東北走向，而北延後逐漸偏東，並於石門附近與石門斷層相交，並由第二類活動斷層改為存疑性活動斷層(林啟文等，2007)。

三、軟橋斷層

本斷層為一向東南傾斜之逆斷層，其由關西鎮以南，以南轉為西南走向經過橫山鄉，續往南延伸至南庄，上盤地層多屬南莊層，岩層以高角度向西或西北傾斜；下盤則分布大埔層至卓蘭層，岩層以低角度向東或東南傾斜，大致為一條分隔中新世及上新世地層 (林昶成，2015)，而本計畫則位於關西至橫山路段，其以近平行方式與該斷層交錯，且路線鄰近於該斷層兩側。

四、鹿廚坑背斜

本背斜軸呈北北東-東北走向，軸部向北東傾沒，屬一不對稱背斜，西北翼岩層傾角約在 50~70 度間、東南翼岩層傾角則在 20~40 度間，其北端受大平地斷層截切，而本計畫路線則於上坪溪左岸與該背斜以近垂直方式交會。

2.2.3 活動斷層與地震

依據最新公告之臺灣活動斷層分布圖(地調所，2021)，鄰近本計畫區之活動斷層及構造包含新城斷層、新竹斷層、湖口斷層及鳳山溪走向滑移構造，分別距離計畫路線約 0.5 公里、15.4 公里、12.9 公里 0.8 公里。其中，新城斷層屬於第一類活動斷層，新竹斷層及湖口段層屬第二類活動斷層。依公告之圖資，上述各斷層皆未直接穿越計畫路線，活斷斷層及運鎮構造如圖 2-3 所示。

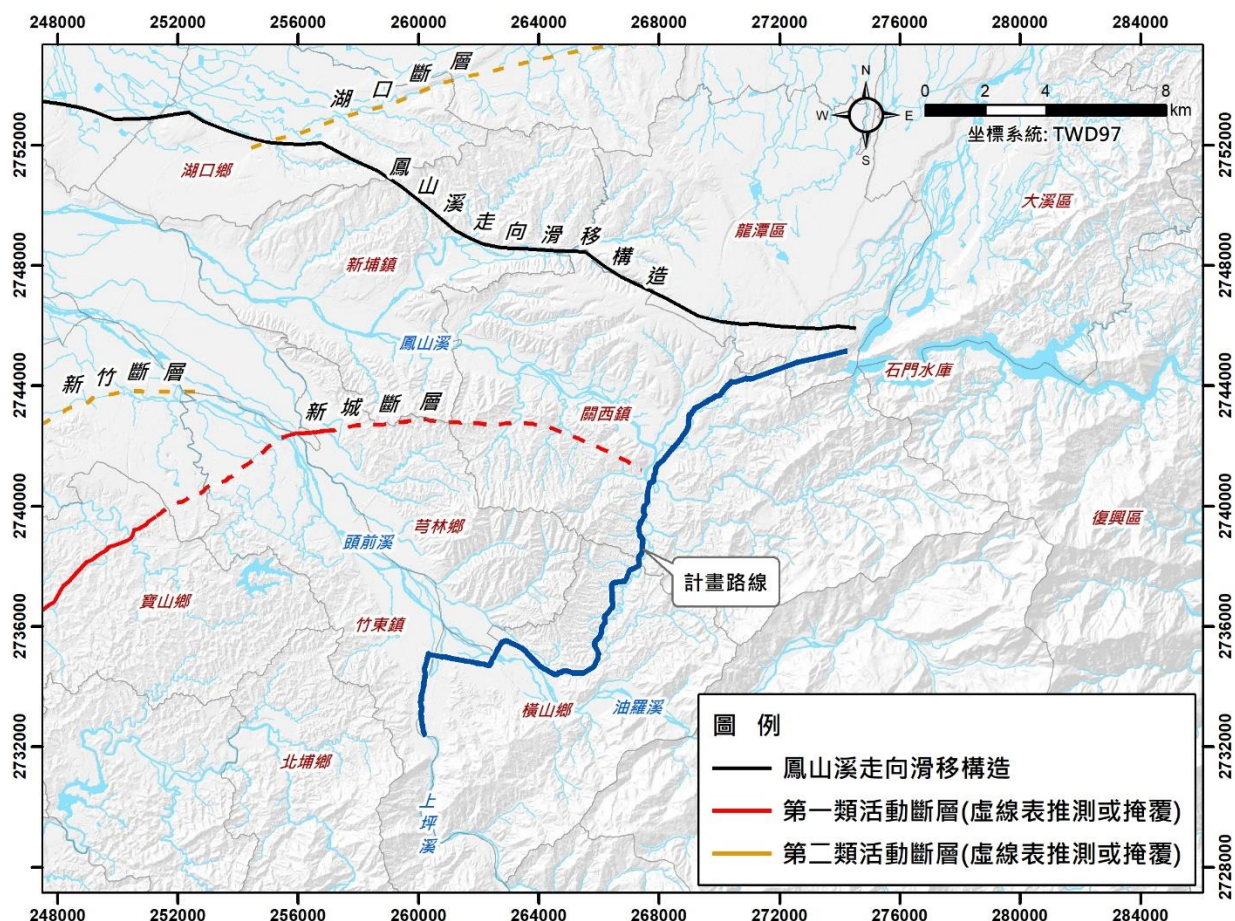


圖 2-3 計畫路線鄰近活動斷層/孕震構造分布圖

2.3 鄰近既有地質紀錄資料

本計畫蒐集計畫路線鄰近相關設施之地質調查成果報告，包含大壩、溢洪道、後池堰、石門大圳、導水隧道、增建排洪隧道、分層取水工...等，除上述工程之地質地調查成果外，另於地調所工程地質探勘資料庫蒐集鄰近既有鑽孔資料。依本計畫工程分段，依序說明如後。

2.3.1 隧道段

隧道段鄰近既有工程設施包含大壩、溢洪道、後池堰、石門大圳、導水隧道、增建排洪隧道、增設取水工...等，相關設施及既有鑽孔位置詳圖 2-4。其中，鄰近本計畫相關設施之既有鑽孔約 30 餘孔，包含增設取水工、石門大圳，以及本計畫隧道進口北方約 100 公尺處 (桃園市龍潭區民有段 1239、1239-4、1241、1243、1244、1249、1250 等七筆地號旅館新建工程)，其地質調查成果摘要如下：

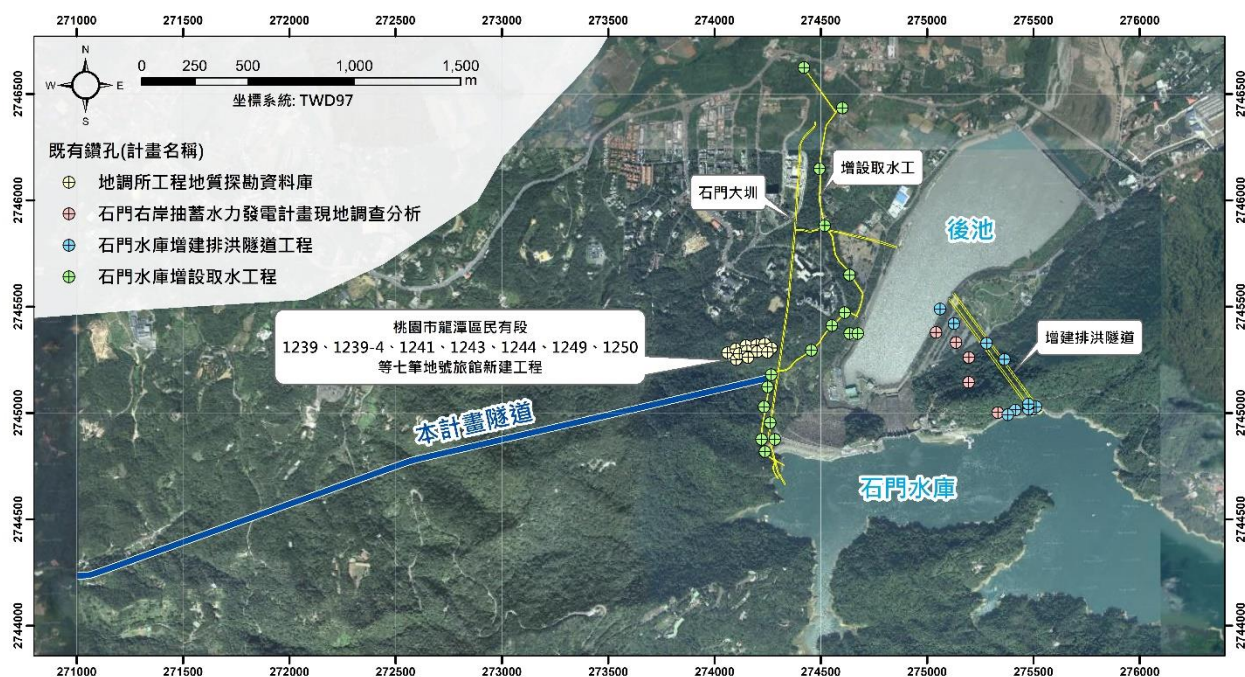


圖 2-4 隧道段鄰近既有鑽孔分布圖

一、增設取水工程

依據民國 98 年北區水資源局辦理之「石門水庫增設取水工程計畫—地質總結報告」，鄰近本聯通管工程隧道進水口之鑽孔為 BH-5~BH-7，根據其鑽孔紀錄顯示，可推估隧道進口邊坡崩積層厚度應至少達 8 公尺。崩積層下方岩盤為粉砂岩、粉砂岩及頁岩之互層，並局部夾有高角度之剪裂，暗示本計畫隧道進口區域已受到石門斷層破碎帶影響；另由 BH-7 之鑽孔記錄，鑽孔深度 4.3~9.0 公尺為破碎帶，其下伏為厚約 10 公尺之卵礫石層(如圖 2-5)，此破碎帶與卵礫石層兩層間接觸，應為斷層接觸關係，然雖無相關定年資料，依地調所活動斷層定義之一：錯移階地堆積物或台地堆積層之斷層，則屬於第二類活動斷層，因此，評估該鑽孔之斷層可能具有活動性。

工程名稱：石門水庫增設取水工程

日期：0940815

地點：中線鋼管

鑽孔編號：BH-7

鑽孔標高：199.00 M

地下水位：1.50 M

地質技師：

深度：20.00 M

座標N：2745295

座標E：274456

鑽探公司：展鴻工程公司

深度 (m)	鑽孔方法	鑽孔水位 (m)	標準貫入 (N值)	回收率 (%)	RQD (%)	地質圖元	岩石或土壤性質描述
0	潛孔鉅鑽鑿法	▽ 094/07/13	100/7 100/4				0.0-4.3m 表土覆蓋
2							
4							
6							
8							
9	旋轉鑽法			90	0		4.3-9.0m 破碎帶夾泥，再膠結
10				90	0		
11				90	0		
12				90	0		
13				90	0		
14				90	0		9.0-19.0m 卵礫石層
15				90	0		
16				90	0		
17				90	0		
18				90	0		
19				90	0		
20				90	0		
21				90	70		19.0-20.0m 青灰色砂岩
22				90	70		

圖 2-5 BH-7 鑽孔柱狀圖(摘自石門水庫增設取水工程地質調查與鑽探試驗報告)

二、石門大圳

石門大圳於大壩左岸的上游面標高 193.55 公尺處取水，所通過的岩層，計有灰色砂岩、泥岩、頁岩、砂頁岩互層、台地煤石層與少量的含岩質薄

層。以閘門控制室為界，向上游的地層走向約 $N70^{\circ}\sim 80^{\circ}E$ ，南傾 62° ；向下游至新店斷層，傾斜角度逐漸減小為 $50\sim 55^{\circ}$ 。新店斷層內的岩層，摺曲逐漸加深，而傾角卻較小。石門大圳於樁號 5+10 至 8+7 之間通過新店斷層，此處地層摺皺有很劇烈的變化。樁號 5+10 以下的砂岩，泥岩以及炭質頁岩，變為大約 50 公尺厚的新店斷層南側擾動帶；摺曲是不規則起伏的，主要的軸向是東西向。

斷層帶的位置大約是在 5+80 至 6+11 公尺間，與附近的擾動帶並沒有清晰的間隔，因此斷層走向與地層相同，斷層面南傾 $20^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 。斷層帶寬約 31 公尺，其組成包含角礫岩、斷層黏土、岩屑、砂頁岩碎片與岩質堆積物等。斷層線北側 25 公尺的岩石，類別與構成情形與南側相似。都是摺曲的薄層砂岩與頁岩，但是沒有一般斷層帶常見的地下水滲出現象。

三、桃園市龍潭區民有段 1239、1239-4、1241、1243、1244、1249、1250 等七筆地號旅館新建工程

經查詢地調所工程地質探勘資料庫，此工程位於本計畫進水口北側約 100 公尺，共 12 孔地質鑽探，每孔孔深 10~20 公尺不等，共計 155 公尺。依其鑽孔紀錄，本區上覆約 0~6m 之崩積層，下伏為小至中粒之礫石層、破碎之砂岩、頁岩或砂頁岩互層，並含有剪磨泥及角礫。其中，於鑽孔 BH-3 中，可見破碎夾泥之砂頁岩互層覆蓋於礫石層之上(如圖 2-6)，此岩盤與卵礫石層兩層間接觸，應為斷層接觸關係，然雖無相關定年資料，依地調所活動斷層定義之一：錯移階地堆積物或台地堆積層之斷層，則屬於第二類活動斷層，因此，評估該鑽孔之斷層可能具有活動性。

工程名稱：-

地點：龍潭區

鑽孔編號：BH-3

深度：20.06 M

鑽孔標高：287.35 M

坐標系統：TWD97

地下水位：

坐標 N：2745301.07

坐標 E：274100.17

日期：0981231-0990103

鑽探公司：頂福有限公司

深度 (m)	鑽孔方法	鑽孔水位	標準貫入	取樣記錄	地質圖元	岩石或土壤性質描述	顏色	回收率(%)	RQD(%)	RQD	礫石 (%)	砂 (%)	粉土 (%)	黏土 (%)
0	旋轉鑽法					崩積層 砂土夾小岩屑 2.3~2.5 小圓礫	黃棕	100		25 30 75				
			64949	S-1-2				100			37.7	39.5	16.0	6.8
2			849411	S-2-2				100			28.5	31.5	28.4	11.5
								100	0					
4			100/12	S-3-0		細砂岩與頁岩互層 完全破碎,含 腐泥與角礫	灰	100	0					
								100	0					
6			100/10	S-4-0				100	0					
				R-1				100	0					
8								100	0					
10			100/9	S-5-0				100	0					
								100	0					
12								100	0					
14			100/9	S-6-0				100	0					
								100	0					
16						卵礫石層,小至中礫,石英質為主	黃棕	100	0					
			100/5	S-7-0				10	0					
18								10	0					
								30	0					
20								20	0					
								30	0					
20.06														

圖 2-6 BH-3 鑽孔柱狀圖(摘自地調所工程地質探勘資料庫)

2.3.1 明挖覆蓋段、推管段及水管橋

經地調所工程地質探勘資料庫與水文地質資料庫整合查詢平台，明挖覆蓋段、推管段及水管橋段鄰近既有鑽孔主要分布於國道 3 號關西服務區、竹 28-1 鄉道，台 3 線鄰近區域則僅見零星分布於油羅溪左岸、上坪溪左岸等區域，既有鑽孔位置詳圖 2-7。



圖 2-7 明挖覆蓋段、推管段及水管橋鄰近鑽孔分布圖

2.4 環境地質及地質敏感區

2.4.1 環境地質

套繪地調所(2013)《易淹水地區上游集水區地質調查與資料庫建置計畫》之環境地質圖資、土石流潛勢溪流分布(水保局, 2022)以及經濟部礦務局之際有礦坑圖資, 成果如圖 2-8 所示, 計畫路線沿線並無明顯崩塌地、順向坡或公告之土石流潛勢溪流分布; 鄰近亦無既有煤礦坑道, 最近之煤礦坑道約位於隧道銜接段南方約 2 兩公里處。

另依前期報告調查成果, 隧道北側有數條南北向之蝕溝發育, 經前階段現場調查各蝕溝, 除打鐵坑溪有少量水流外, 其餘皆呈乾涸狀態, 僅大雨後方現逕流, 出不停估對隧道影響有限。

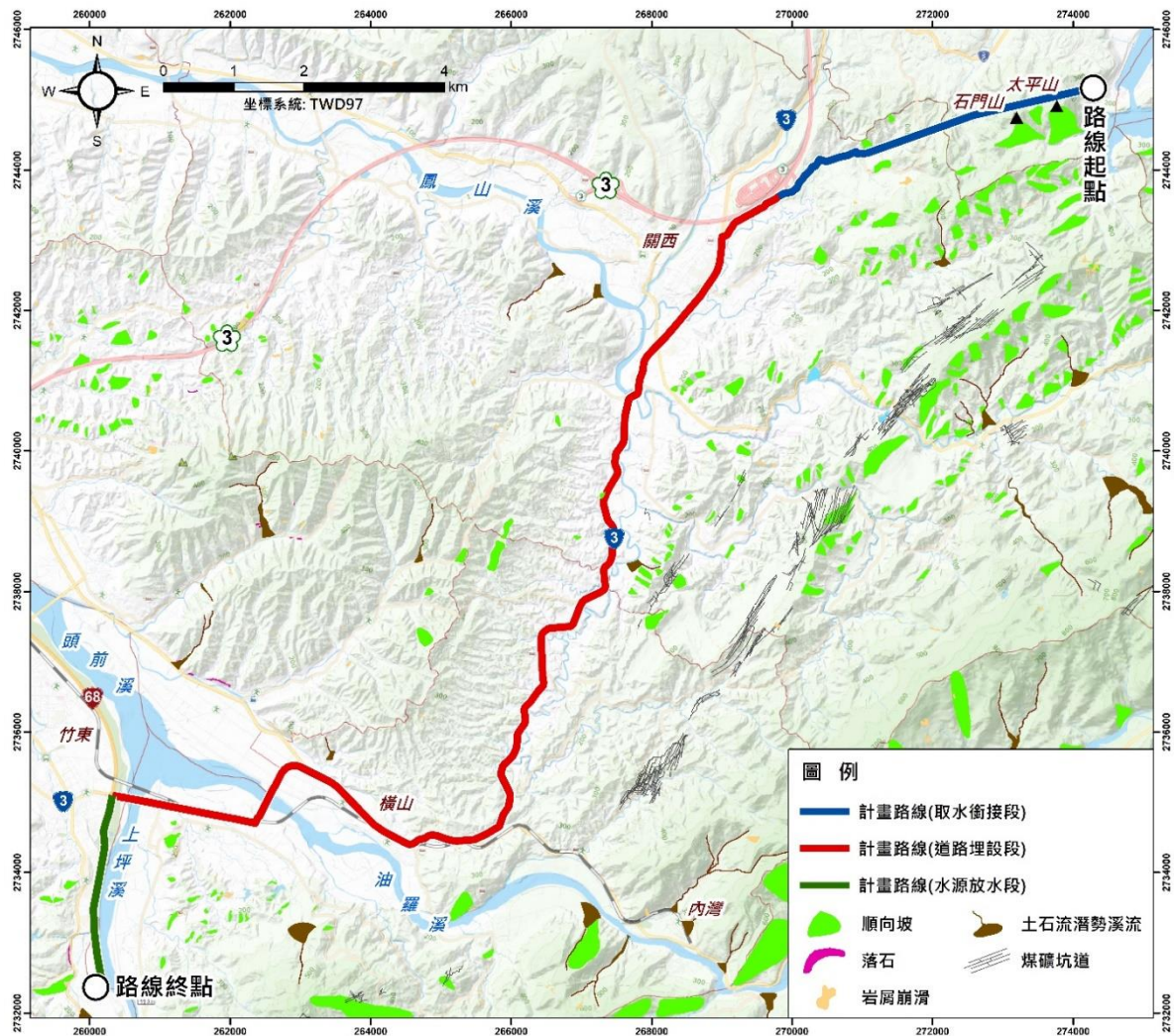
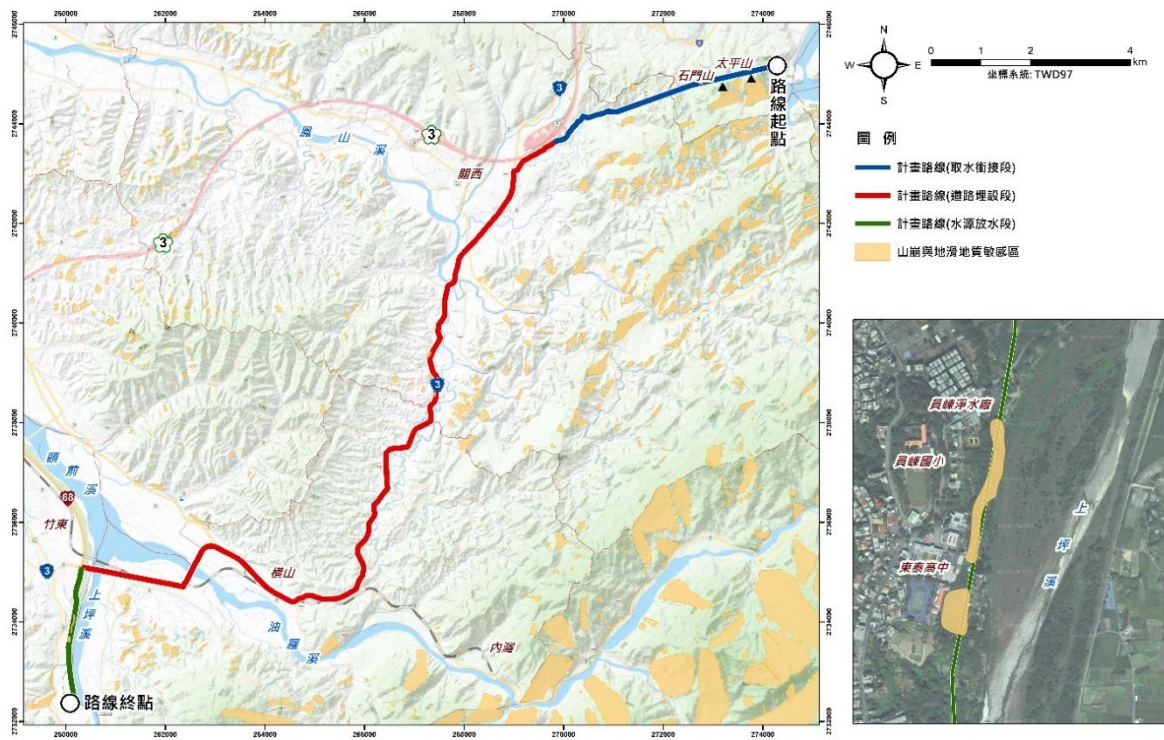


圖 2-8 計畫區域環境地質圖

2.4.2 地質敏感區

套繪地調所最新公告之地質敏感區圖資(如圖 2-9 所示),計畫路線僅於跨河放水段部分區域與兩處山崩與地滑地質敏感區重疊。此二地質敏感區位於上坪溪左岸高位河階之下邊坡,坡度陡峭。依前期現場調查成果,南側(靠近東泰高中)之敏感區規模較小,植生狀況較佳;北側(近員嶼淨水廠)之敏感區分布較廣,長度約 370 公尺,坡面局部可見岩盤裸露,邊坡破壞模式應為局部性之表層崩滑或岩塊之楔形破壞。

由於本段聯通管規劃以明挖覆蓋方式通過,初步評估敏感區對工程應無直接影響,但可能受到敏感區所在斜坡造成之岩體滑動所覆蓋或上坪溪河水上漲帶來沉積物沖刷至本聯通管,故後續於設計時,須注意上邊坡斜坡岩體滑動與河道沉積物沖刷之影響。



第三章 地質調查與試驗成果

3.1 地表地質調查

本項工作利用步行、車輛方式至可達區域進行調查，部分區域因邊坡陡峭，植被茂密，不易到達，故以空拍機輔助調查與判釋。主要針對隧道段沿線山區及上坪溪左岸階地之山崩與地滑地質敏感區等兩區，進行岩性、地質構造、地層、弱面位態及地形地貌…等項目之調查；其餘推管段、明挖覆蓋段或水管段多位於既有道路台三線上，無明顯良好露頭可供調查。故本工作綜整前期調查資料(經濟部水規所，2022)與本次調查成果，分區域說明如後。

一、隧道段沿線

隧道段地表地質調查位置如圖 3-1，調查範圍東起由隧道進口之中線道路、太平山、石門山之步道與部分溪溝、打鐵坑溪溪溝、粗坑路、桃 29 鄉道、糞箕窩，至竹 28-1 鄉道止，調查成果分區段概述如下：

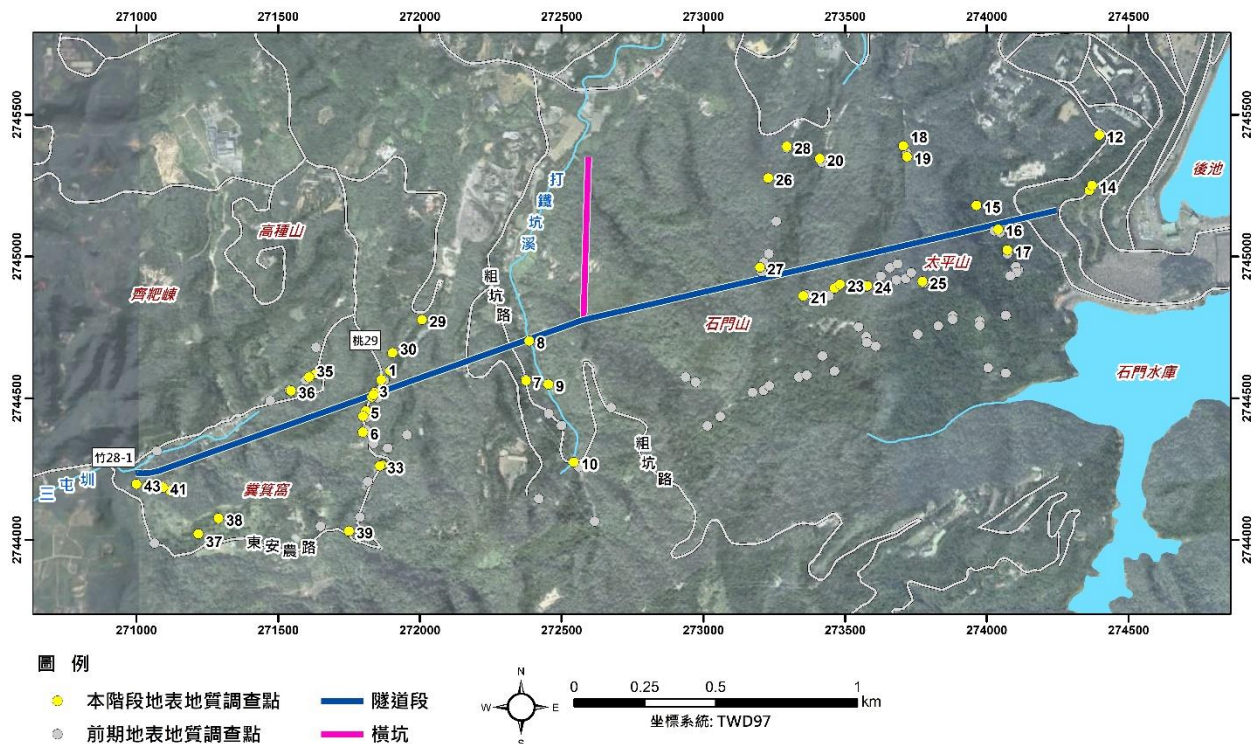


圖 3-1 隧道沿線地表地質調查位置圖

1. 隧道進口

隧道進口位於石門水庫左壩座中線道路上邊坡，邊坡上方為已開發之次生林及步道。地表主要受到植生覆蓋，未見良好之露頭出露，僅北側坡面可見階地礫石層存在，依地貌為蝕溝地形及地表零星之岩塊與露頭評估，本進口附近邊坡大部分應為崩積層及階地礫石層所構成(如圖 3-2，調查點編號 14)，並依既有資料推估崩積層厚度至少超過 8 公尺。因此，由地形特性與崩積層分布評估，進口需注意蝕溝侵蝕破壞及上邊坡淺層岩塊或土體的崩滑，並考量洞口相關邊坡之保護措施。

2. 隧道出口

隧道出口位於高種山南側，鳳山溪上游兩支流交會口山脊處，即現為東安農路及竹 28-1 鄉道交會處，現地植生茂密，僅位於山脊兩側邊坡具有零星露頭出露，其岩性主要為厚層砂岩夾薄頁岩，砂岩層狀膠結良好、岩質堅實，局部呈層狀，大部分受生物擾動而使層理不明顯；頁岩厚度多小於 5 公尺，地層位態 $N70^{\circ}\sim 90^{\circ}E/15^{\circ}\sim 25^{\circ}SE$ ，依區域地質圖顯示此岩性應屬於南莊層。因此，由地形特性與地層特性評估，隧道出口屬於逆向坡，雖無明顯邊坡破壞之跡象，仍需注意開挖後上邊坡淺層岩屑崩滑之災害，並考量洞口相關邊坡之保護措施。

3. 隧道沿線

隧道由左壩座以東北向西南延伸至關西休息站東側附近，沿線植被茂密，露頭僅零星出露於道路或溪溝兩側邊坡，可供調查與參考。於進水口向西南至桃 29 鄉道之岩性由砂岩轉為砂頁岩互層，區域位態具一致性，約為 $N60^{\circ}\sim 80^{\circ}E/30^{\circ}\sim 60^{\circ}SE$ ，依區域地層之岩性特徵推測此兩岩性分別為南港砂岩與石底層；由桃 29 鄉道以西至隧道出口則為厚層砂岩夾薄頁岩，區域位態亦具一致性，約為 $N70^{\circ}\sim 90^{\circ}E/15^{\circ}\sim 25^{\circ}SE$ ，依區域地層之岩性特徵推測此岩性為南莊層。此外，鄰近桃 29 鄉道附近與隧道線型北側區域之調查點，可發現一群位態呈近南北走向、傾角變化大，且傾斜方向多變之地層，其

岩性為砂頁岩互層，岩體裂隙發達，而此岩層位態與區域位態迥異，且其大致介於石底層與南莊層之間，因此，由區域位態與地層岩性差異來看，推估此岩層受斷層擾動影響，為石門斷層之擾動帶，而鄰近桃 29 鄉道以西附近，可能為石門斷層通過處。由調查成果推估隧道沿線由進水口至出水口通過之地層依序為南港層、石底層及南莊層，其中石底層與南莊層之交界為石門斷層斷層擾動帶，隧道地表地質成果圖如圖 3-3。因此，由地層特性與斷層帶分布評估，隧道沿線大致平行石門斷層，且於桃 29 鄉道附近轉向並通過斷層帶，整體而言，隧道沿線靠近斷層之路線段，其岩體裂隙發達且破碎，受到斷層擾動帶影響甚大，後續須考量岩體破碎與斷層擾動帶之影響。

	調查點編號：14 位置概述：中線道路上邊坡，隧道進口北側 露頭描述：河階礫石層，礫石呈圓狀；下伏岩盤為堅實之砂岩，無明顯層理 地層位態：無。
	調查點編號：15 位置概述：石門山登山步道旁 露頭描述：石底層之砂岩夾薄頁岩 地層位態：N60°E/35°S 節理位態：J1 - N7°E/57°W J2 - N89°W/88°S
	調查點編號：40 位置概述：隧道出口南側小路旁 露頭描述：層狀砂岩夾薄頁岩 地層位態：N86°E/25°S 節理位態：J1 - N9°W/88°E J2 - N4°W/52°N
	調查點編號：2 位置概述：桃 29 鄉道路旁 露頭描述：破碎之砂岩夾頁岩，可能為石門斷層擾動帶 地層位態：N36°W/74°W

圖 3-2 隧道沿線地表地質調查露頭照片

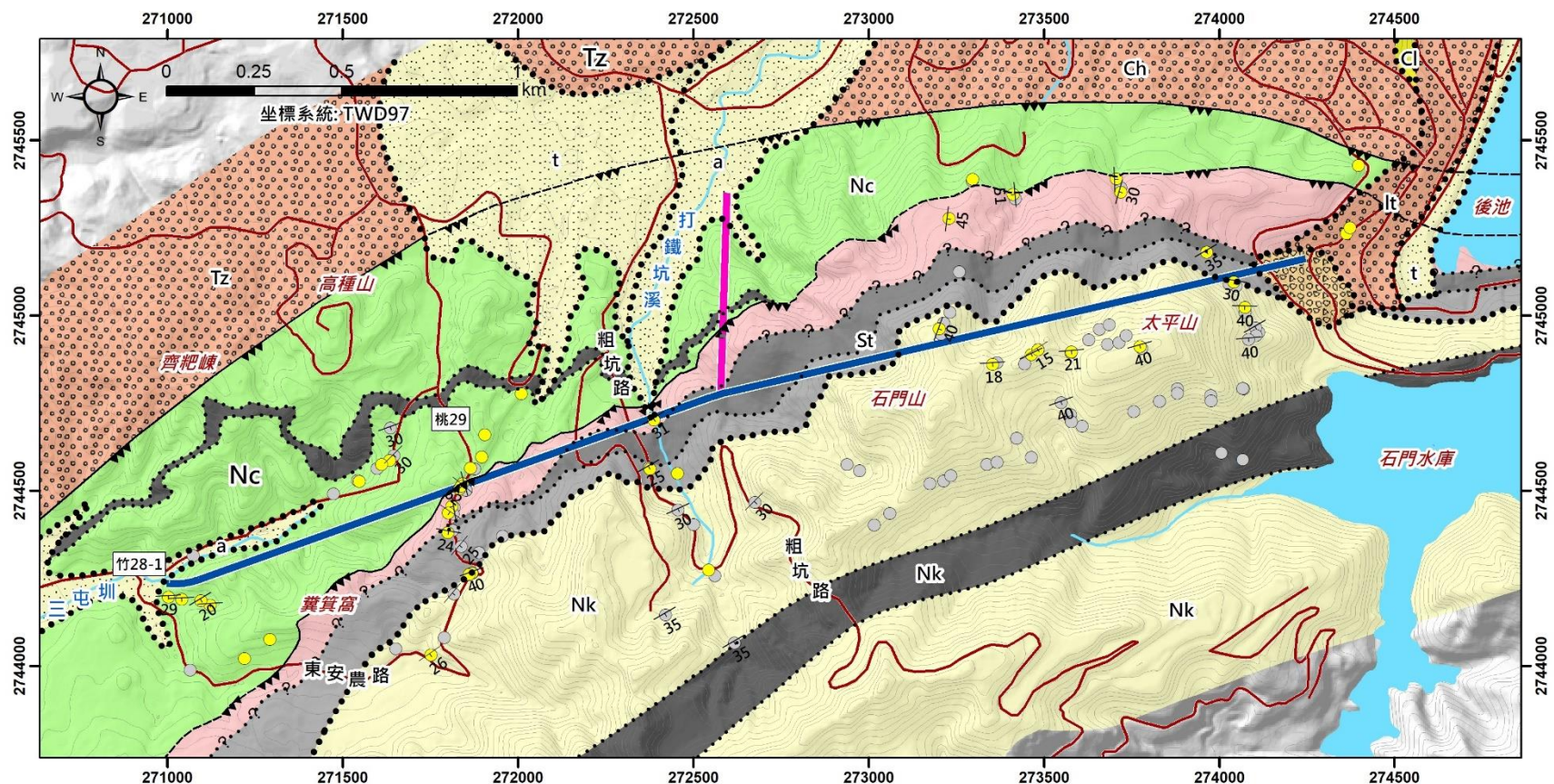


圖 3-3 隧道沿線地表地質調查成果圖

二、上坪溪左岸高灘地山崩與地滑地質敏感區

本計畫路線位於上坪溪左岸河階地之上，通過兩處山崩與地滑地質敏感區，此兩處為南北向分布，前者為長條狀，分布約由員嶼淨水廠東南側至員嶼國小，長邊約 400 公尺，；後者則為矩形，分布於私立東泰高中東側邊坡，長邊約 120 公尺。此兩敏感區分布於兩河階地坡面或階面，以河床高程約 140~142 公尺為基準可分為兩階：近河床之較低階地為第一階(簡稱 L1)，其海拔高程約 146~148 公尺高，階面距河床高差約 6 公尺；較高階地為第二階(簡稱 L2)，其海拔高程約 172~174 公尺，階面距 L1 高差約 26 公尺，而 L1 與 L2 之間坡面坡度約 50 度。由於此兩地質敏感區南北相距不到一百公尺，且主要位於 L2 之同一斜坡單元，少部分位於 L2 坡腳與 L1 交界處，其破壞行為應為相同，故合併調查與說明，調查位置如圖 3-4

由現地調查顯示，L1、L2 具有明顯地形上差異，且此兩地質敏感區主要位於 L2，其坡面斜坡坡度陡峭，坡頂坡面及坡腳處植生狀況大致良好，部分區域可見護坡保護，僅局部下邊坡坡面之岩層出露；由地層位態來看，此坡面為斜交坡，而岩盤之岩性為粉砂岩夾薄層頁岩，岩體常受節理及層面構成楔形結構。此外，由階地特性來看，位於 L2 坡頂或上邊坡斜坡應為階地礫石層所堆積，參考地調所工程地質資料庫之地質鑽探成果，顯示 L2 階地面下約 10 公尺為階地礫石層，以下則為岩盤。

本計畫路線大致重疊於 L1 階面上之地質敏感區內，且鄰近 L2 斜坡坡趾處，由局部露頭顯示，此階地面下為階地礫石層堆積。因此，由地形與岩性特性來看，此兩地質敏感區之地質災害應為局部性之階地堆積層崩滑或岩塊之楔形破壞。然由於計畫路線位於 L1 階面上，非地質敏感區 L2 之斜坡面上，故其應無邊坡崩滑之危害，但可能受到 L2 斜坡造成之岩體滑動所覆蓋或上坪溪河水上漲帶來沉積物沖刷至 L1 河階面，故後續於設計時，須注意 L2 斜坡岩體滑動與河道沉積物沖刷之影響。

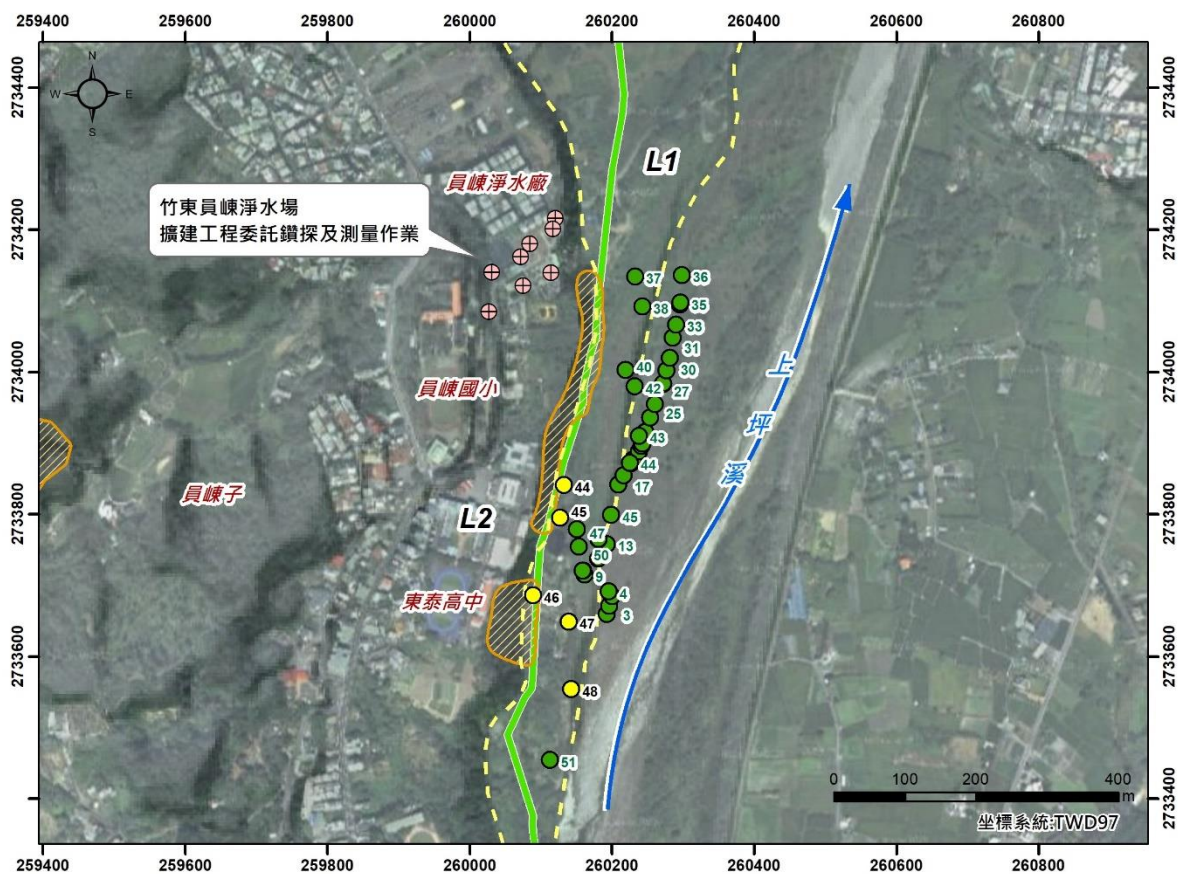


圖 例

- 本階段地表地質調查點
- UAV空拍調查點
- ⊕ 鄰近既有鑽孔
- 計畫路線
- - - 地形判釋階段地邊界
- ▨ 新竹縣市山崩與地滑地質敏感區

圖 3-4 上坪溪左岸高灘地地表地質調查位置圖

	調查點編號：UAV44 露頭描述：北側敏感區，坡面陡峭，坡頂坡面及坡腳處可見植生狀況大致良好
	調查點編號：45 露頭描述：下邊坡坡面局部岩層出露，岩性為粉砂岩夾薄層頁岩，岩體常受節理及層面構成楔形結構。
	調查點編號：UAV4 露頭描述：南側敏感區，坡度陡峭，坡頂質狀況良好，可見既有邊坡保護設施
	調查點編號：46 照片描述：南側敏感區，坡度陡峭，坡頂質狀況良好，可見既有邊坡保護設施

圖 3-5 上坪溪左岸高灘地地表地質調查露頭照片

3.2 地電阻剖面探查

3.2.1 探查配置

依既有文獻資料，本計畫路線隧道段大致與石門斷層呈小角度斜交，斷層破碎帶之範圍將高度影響本工程之工期與預算，故本計畫配置兩條與斷層走向正交之地電阻測線(探查長度分別為 540、360 公尺)，並配合鑽探成果以推估石門斷層破碎帶之位置及其影響範圍。地電阻測線起訖點座標如表 3-1，位置詳圖 3-6。

表 3-1 隧道段地質調查數量表

測線編號		座標(97TM2)		測線長度	對應計畫路線里程
		E	N	(m)	
RIP-1	起點	272277.737	2744871.362	540	1K+954
	終點	272472.569	2744367.758		
RIP-2	起點	271802.472	2744591.858	360	2K+503
	終點	271914.720	2744249.786		

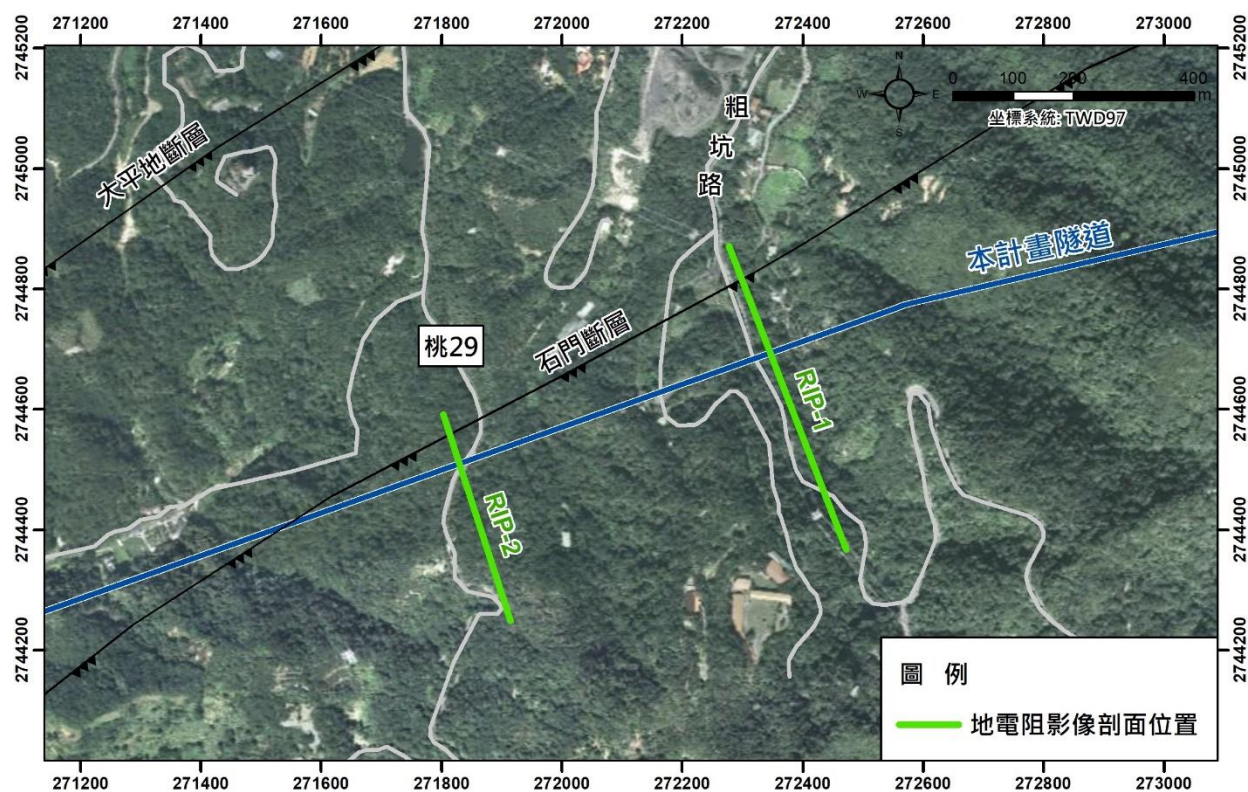


圖 3-6 地電阻影像剖面測線探查位置

3.2.2 探查成果

1. RIP-1

本測線布置於粗坑路下邊坡，探查長度 540 公尺，測線約於計畫路線里程 1K+954 處通過，延伸方向大致與隧道線型呈正交，判釋成果詳圖 3-7。RIP-1 剖面里程 225~280 公尺之間有一低電阻區，推測為石門斷層及其擾動帶；低電阻區南側(斷層上盤)依序為一泥質岩盤區段及一砂質岩盤區段，對照地表地質調查成果，應為石底層之砂頁岩互層與南港層之厚砂岩；低電阻區北側(斷層下盤)則為砂質岩盤，對照地表地質調查成果，應為南莊層之砂岩。

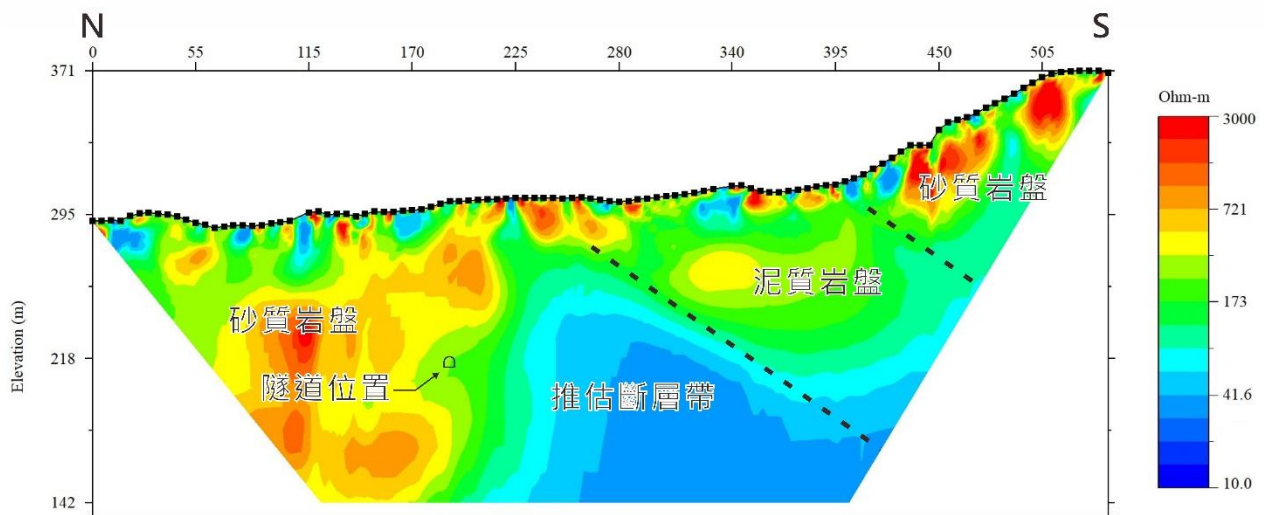


圖 3-7 地電阻影像剖面測線 RIP-1 探查成果圖

2. RIP-2

本測線布置於桃 29 鄉道路旁，探查長度 360 公尺，測線約於計畫路線里程 2K+503 處通過，延伸方向大致與隧道線型呈正交，判釋成果詳圖 3-8。RIP-2 剖面里程 080~160 公尺之間有一低電阻區，推測為石門斷層及其擾動帶；低電阻區南側(斷層上盤)為泥質岩盤，對照地表地質調查成果，應為石底層之砂頁岩互層；低電阻區北側(斷層下盤)則為砂質岩盤，對照地表地質調查成果，應為南莊層之砂岩。

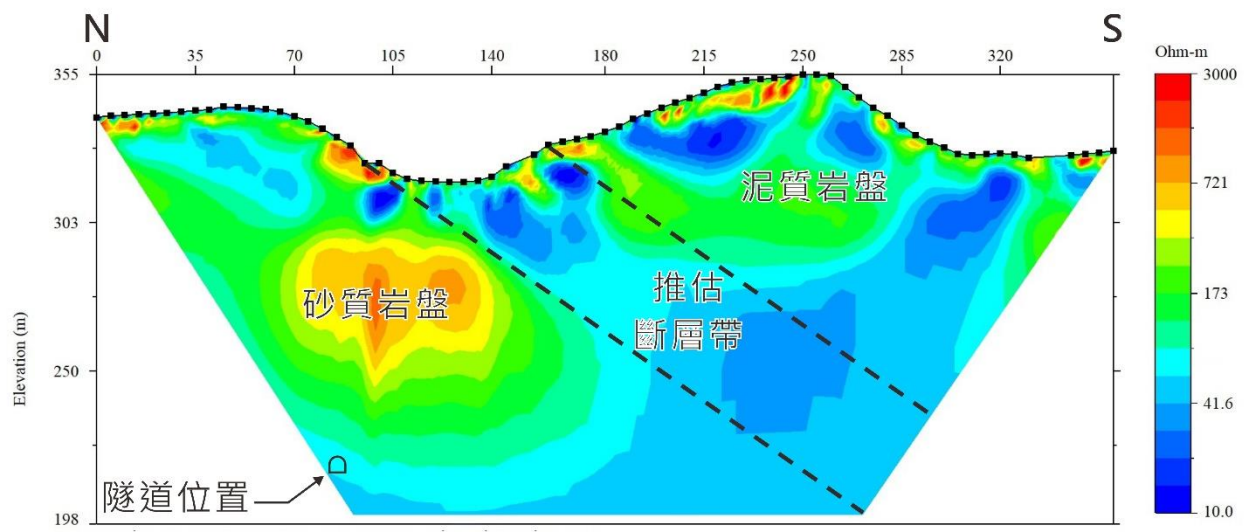


圖 3-8 地電阻影像剖面測線 RIP-2 探查成果圖

3.3 地質鑽探

3.3.1 鑽探配置

本項調查工作共完成 34 孔地質鑽探，包含隧道段 6 孔、明挖覆蓋段 14 孔、推管段 6 孔、及水管橋 8 孔，總深度 886 公尺，其中 BH-1 為水平孔，其餘皆為垂直孔。各鑽孔孔號、座標、鑽孔目的如表 3-2，鑽孔位置詳圖 3-9~圖 3-10。

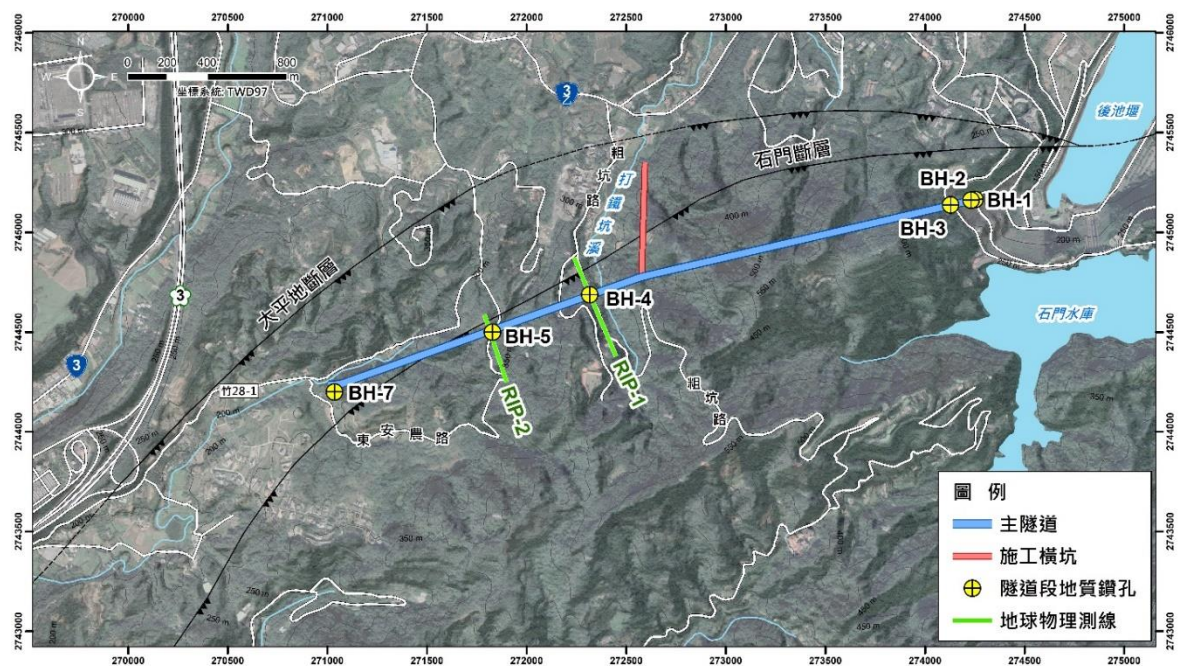


圖 3-9 隧道段地質鑽探調查位置圖

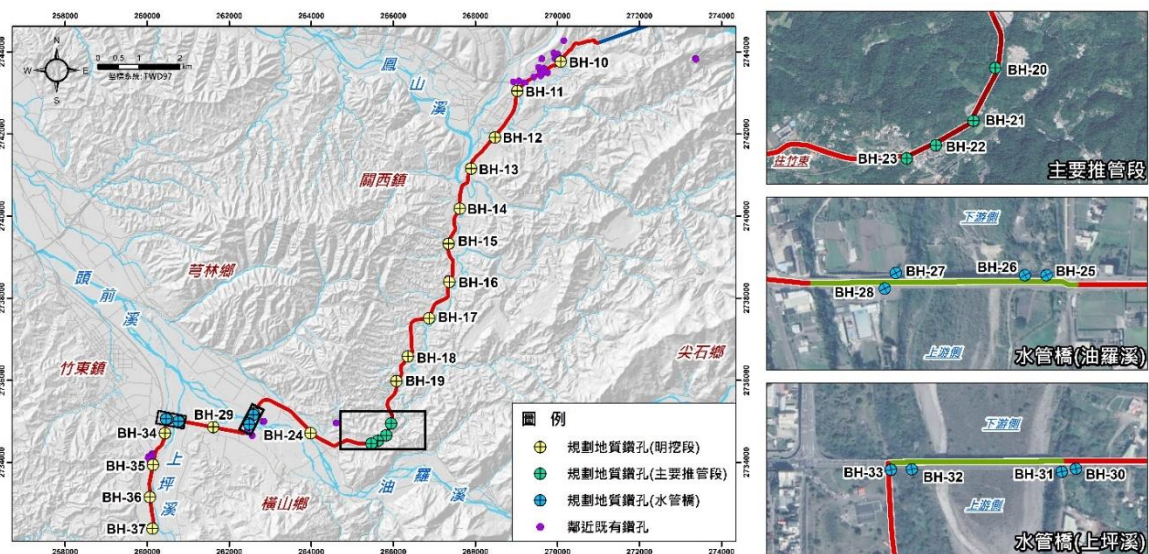


圖 3-10 明挖覆蓋段、推管段及水管橋地質鑽探調查位置圖

表 3-2 地質鑽探調查數量表

區段	鑽孔編號	座標(97TM2)		孔口高程	鑽探深度	對應計畫路線里程
		E	N	(m)	(m)	
隧道段	BH-1	274251.895	2745163.89	212.482	60	隧道進口 0K-003
	BH-2	274231.763	2745160.316	222.01	20	0K+017
	BH-3	274133.713	2745124.841	260.456	60	0K+120
	BH-4	272313.712	2744678.98	309.47	100	1K+996
	BH-5	271819.841	2744488.623	324.457	120	2K+525
	BH-7	271035.224	2744189.653	227.096	45	3K+352
明挖覆蓋段	BH-10	270088.747	2743766.58	214.515	8	4K+530
	BH-11	269026.803	2743064.975	174.317	8	5K+846
	BH-12	268475.631	2742049.923	141.58	8	7K+055
	BH-13	267895.197	2741175.54	142.448	8	8K+144
	BH-14	267619.155	2740198.359	134.089	8	9K+237
	BH-15	267338.739	2739198.516	142.288	8	10K+344
	BH-16	267332.964	2738289.628	155.055	8	11K+334
	BH-17	266649.234	2737469.701	169.292	8	12K+548
	BH-18	266345.767	2736562.665	177.474	20	13K+683
	BH-19	266076.517	2735973.986	176.41	8	14K+373
推管段	BH-20	265943.988	2734937.392	214.917	20	15K+520
	BH-21	265831.378	2734656.445	217.601	20	15K+821
	BH-22	265633.632	2734534.973	216.662	20	16K+053
	BH-23	265431.445	2734451.034	213.514	20	16K+271
	BH-24	264140.82	2734600.662	172.433	15	17K+652

區段	鑽孔編號	座標(97TM2)		孔口高程	鑽探深度	對應計畫路線里程
		E	N	(m)	(m)	
水管橋(油羅溪橋)	BH-25	262596.363	2735182.485	151.458	30	19K+713
	BH-26	262571.309	2735137.542	148.823	30	19K+764
	BH-27	262481.946	2734953.824	152.253	30	19K+969
	BH-28	262493.521	2734918.403	153.112	30	19K+995
推管段	BH-29	262337.346	2734701.258	158.069	15	20K+281
水管橋(竹東大橋)	BH-30	260785.407	2734999.013	141.254	30	21K+863
	BH-31	260767.268	2735001.36	140.475	30	21K+887
	BH-32	260503.433	2735055.449	135.587	30	22K+156
	BH-33	260461.285	2735054.613	134.019	30	22K+197
明挖覆蓋段	BH-34	260194.769	2734589.624	142.625	8	22K+872
	BH-35	260142.511	2733863.062	147.964	8	23K+606
	BH-36	260067.299	2733132.184	156.935	8	24K+374
	BH-37	260123.198	2732372.042	162.602	15	調整池

3.3.2 鑽探成果

本調查工作共完成 34 孔地質鑽探，茲將各鑽孔岩心判釋成果依計畫路線施工方式，分段敘述如下(岩心柱狀圖及照片詳附錄一及附錄二)：

一、隧道段

3. BH-1

本孔位於計畫路線隧道段進口，石門水庫中線道路旁邊坡，為沿隧道前進方向(N77°E)之水平鑽孔，深度 60 公尺。深度 0.0~25.2 公尺為崩積層，崩積材料包含岩塊、角礫與黃棕色土壤；深度 25.2~60.0 公尺為深灰色頁岩，大部分受斷層擾動而呈高度破碎、夾泥，局部較完整之區段可量測層面，傾角約 20°。

本孔鑽遇地層屬於石底層，並位於石門斷層擾動帶內。隧道進口通過

崩積層後，岩性以頁岩為主，岩體受斷層擾動而呈破碎、夾泥。

4. BH-2

本孔位於石門水庫中線道路上邊坡，計畫路線里程 0K+017 附近，為垂直鑽孔，深度 20 公尺。深度 0.0~8.2 公尺為崩積層，塊石呈角礫狀，基質為細砂及黏土，排列為基質支持；深度 8.2~14.0 公尺為深灰色頁岩，受斷層擾動呈破碎狀並夾泥；深度 14.0~15.5 公尺為灰白色細砂岩，具蜘蛛網狀破裂；深度 15.5~20.0 公尺為灰色頁岩，受斷層擾動呈高度破碎。

本孔鑽遇地層屬於石底層，並位於石門斷層擾動帶內。隧道中心岩性以頁岩為主，岩體受斷層擾動而呈破碎、夾泥。

5. BH-3

本孔位於石門水庫中線道路上邊坡，計畫路線里程 0K+120 附近，為垂直鑽孔，深度 60 公尺。深度 0.0~4.4 公尺為崩積層，塊石呈角礫狀，基質為細砂及黏土，排列為基質支持；深度 4.4~40.3 公尺以砂頁岩互層為主，偶夾砂岩，岩心大致完整，局部可見破碎夾泥或公分級之小錯動，層面傾角約 30° ~ 40° ；深度 40.3~60.0 公尺以頁岩為主，受斷層擾動而呈高度破碎，並夾有剪裂泥，層面傾角變陡至約 50° ~ 80° 。

本孔鑽遇地層屬於石底層、並於深度 40.3 公尺後進入石門斷層擾動帶內。隧道中心岩性以頁岩為主，岩體受斷層擾動而呈破碎、夾泥。

6. BH-4

本孔位於粗坑路旁，計畫路線里程 1K+996 附近，為垂直鑽孔，深度 100 公尺。深度 0.0~4.4 公尺為崩積層，塊石呈角礫狀，基質為細砂及黏土，排列為基質支持；深度 4.4~40.2 公尺為頁岩偶夾薄層砂岩，局部高度破碎夾泥，並可見剪切構造，剪裂面傾角約 50° ~ 80° ；深度 40.2~42.9 公尺由斷層泥及斷層角礫組成；深度 42.9~47.2 公尺為塊石層，排列為基質支持，產狀似崩積層，頂部受風化呈黃棕色；深度 47.2~50.0 公尺為細砂層，內含數

條深色高角度之剪磨泥；深度 50.0~62.4 公尺為礫石層，礫石形狀為圓至次圓狀，基質為砂及泥，排列為顆粒支持；深度 62.4~100.0 公尺主要為灰白色粉砂岩，偶夾厚度 2 公尺以下之頁岩層，局部可見生物擾動或是生物碎屑富集(93.0~94.6 公尺)，並於 77.8~78.2 可見煤線，粉砂岩層理不明顯，僅於岩性交界面可量得層面傾角約 20°。

本孔鑽遇地層於 42.9 公尺以上屬於石底層，並位於石門斷層擾動帶內，42.9~62.4 公尺間則為塊石或礫石層，推估 42.9 公尺處可能為石門斷層位置；62.4 公尺以下為斷層下盤之南莊層。隧道中心岩性以粉砂岩為主，岩體局部受層間剪裂影響而呈破碎、夾泥。此外，此 42.9 公尺處岩盤與塊石層兩層間接觸，為斷層接觸關係，然雖無相關定年資料，依地調所活動斷層定義之一：錯移階地堆積物或台地堆積層之斷層，則屬於第二類活動斷層，因此，評估該鑽孔之斷層可能具有活動性。

7. BH-5

本孔位於桃 29 鄉道路旁，計畫路線里程 2K+525 附近，為垂直鑽孔，深度 120 公尺。深度 0.0~3.5 公尺為回填層及崩積層，由礫石質砂組成；深度 3.5~85.7 公尺為青灰色至灰白色粉砂岩，偶夾薄層頁岩，粉砂岩具輕微生物擾動現象，層理不明顯，僅於岩性交界面可量得層面傾角約 10~20°，並含有兩組節理(40°、70°)，岩心大致完整，局部區段破碎夾泥，破碎段厚度多小於 5 公尺。深度 85.7~104.4 公尺為頁岩夾薄砂岩，層面傾角約 10~20°，局部可見破碎夾泥，剪裂面傾角約 60°；深度 104.4~120.0 公尺為灰色粉砂岩，偶夾薄層頁岩，具輕微生物擾動現象，層理不明顯，含有兩組節理(40°、70°)。

本孔鑽遇地層為南莊層，隧道中心岩性以粉砂岩為主，膠結大致良好，僅局部受層間剪裂影響而呈破碎、夾泥，由本孔調查成果，破碎段厚度多小於 5 公尺。

8. BH-7

本孔位於東安農路旁小路，計畫路線里程 3K+352 附近，鄰近隧道段

出口，為垂直鑽孔，深度 45 公尺。深度 0.0~2.5 公尺為回填層及崩積層，由礫石質砂組成；深度 2.5~43.1 公尺為青灰色至灰白色粉砂岩，偶夾薄層頁岩，其中 2.5~3.7 公尺受風化而成棕黃色，粉砂岩具輕微生物擾動現象，層理不明顯，僅於岩性交界面可量得層面傾角約 10~20°，岩心大致完整，局部區段破碎夾泥，破碎段厚度多小於 5 公尺。深度 43.1~45.0 公尺為灰白色砂岩，生物擾動強烈，生物碎屑富集。

二、明挖覆蓋段

1. BH-10

本孔位於竹 28-1 鄉道旁，計畫路線里程 4K+530 附近，為垂直鑽孔，深度 8 公尺。深度 0.0~2.0 公尺為回填層，由棕紅色粉土質砂為主，偶夾礫石；深度 2.0~8.0 公尺為礫石層，礫石為圓至次圓狀，粒徑多小於 10 公分，基質為粉砂質黏土，排列呈基質支持。本孔於最大探查深度未鑽遇岩盤。

2. BH-11

本孔位於竹 28-1 鄉道與台 3 線交會處，計畫路線里程 5K+846 附近，為垂直鑽孔，深度 8 公尺。深度 0~0.6 公尺為回填層，由粉土質砂夾塊石組成；深度 0.6~2.1 公尺為粉土質黏土；深度 2.1~6.4 公尺為礫石層，礫石為圓至次圓狀，粒徑多介 5~10 公分，最大亦可超過 20 公分，基質為粉砂質黏土，排列呈基質支持；深度 6.4~8.0 公尺為粉土質砂。本孔於最大探查深度未鑽遇岩盤。

3. BH-12

本孔位於台 3 線路旁，計畫路線里程 7K+055 附近，為垂直鑽孔，深度 8 公尺。深度 0.0~1.8 公尺為回填層，由粉土質砂夾塊石組成；深度 1.8~8.0 公尺為礫石層，局部夾粉土質砂(4.8~6.55 公尺)，礫石為圓至次圓狀，粒徑多介 3~10 公分，最大亦可超過 20 公分，基質為粉砂質黏土，排列呈基質支持。本孔於最大探查深度未鑽遇岩盤。

4. BH-13

本孔位於台 3 線路旁，計畫路線里程 8K+144 附近，為垂直鑽孔，深度 8 公尺。深度 0.0~1.0 公尺為回填層，由粉土質砂夾塊石組成；深度 1.0~8.0 公尺為礫石層，礫石為圓至次圓狀，粒徑多介 3~10 公分，最大亦可超過 15 公分，基質為粉砂質黏土或粉土質砂，排列呈基質支持。本孔於最大探查深度未鑽遇岩盤。

5. BH-14

本孔位於台 3 線路旁，計畫路線里程 9K+237 附近，為垂直鑽孔，深度 8 公尺。深度 0.0~4.5 公尺為粉土質砂；深度 4.5~6.6 公尺為礫石層；深度 6.6~8.0 公尺為細砂岩，局部夾有煤線，層理約 40°。本孔鑽遇地層屬南莊層，岩盤線深度為 6.6 公尺。

6. BH-15

本孔位於台 3 線路旁，計畫路線里程 10K+344 附近，為垂直鑽孔，深度 8 公尺。深度 0.0~0.3 公尺為回填層；深度 0.3~3.4 公尺為粉土質砂；深度 3.4~8.0 公尺為砂岩，頂部風化約 1.1 公尺，含煤線，層理約 30°，局部可見剪切構造(4.5~5.5 公尺)。本孔鑽遇地層為卓蘭層，岩盤線深度為 3.4 公尺，岩體局部受斷層擾動。

7. BH-16

本孔位於台 3 線路旁，計畫路線里程 11K+334 附近，為垂直鑽孔，深度 8 公尺。深度 0.0~0.5 公尺為回填層；深度 0.5~0.6 公尺為礫石層；深度 0.6~8.0 公尺為細砂岩偶夾薄泥岩層，層理約 50°，局部可見剪切構造(4.3 公尺)，剪裂面傾角約 70°。本孔鑽遇地層為南莊層，岩盤線深度為 0.6 公尺，岩體局部受斷層擾動。

8. BH-17

本孔位於台 3 線路旁，計畫路線里程 12K+548 附近，為垂直鑽孔，深度 8 公尺。深度 0.0~0.6 公尺為回填層；深度 1.7~3.4 公尺為卵礫石層夾粉土；深度 3.2~6.6 公尺為砂泥岩互層，具輕微生物擾動現象，層理約 85 至 90°；深度 6.6~8.0 公尺為砂岩夾泥岩，層理約 85 至 90°。

9. BH-18

本孔位於台 3 線路旁，計畫路線里程 13K+683 附近，為垂直鑽孔，深度 20 公尺。深度 0.0~9.1 公尺為回填層，主要為粉土質砂偶夾黏土；深度 9.1~20.0 為泥質砂岩夾薄泥岩，中度至強烈生物擾動，層理不明顯；深度 14.9~20.0 公尺為砂泥岩互層，具輕微生物擾動現象，層理約 60°，局部可見公分級之小錯動。

10. BH-19

本孔位於台 3 線路旁，計畫路線里程 14K+373 附近，為垂直鑽孔，深度 8 公尺。深度 0.0~1.0 公尺為回填層；深度 1.0~4.0 公尺為砂質粉土；深度 4.0~8.0 公尺為泥質砂岩，層理不明顯，偶見高角度之剪裂泥(7.2~7.3 公尺，厚度約 0.3 公分)。

11. BH-34

本孔位於上坪溪左岸高灘地，計畫路線里程 22K+872 附近，為垂直鑽孔，深度 8 公尺。深度 0.0~1.6 公尺為回填層，由粉土夾小礫組成；深度 1.6~8.0 公尺為礫石層，礫石為圓至次圓狀，粒徑多介 2~5 公分，最大亦可超過 30 公分，基質為砂及泥，排列呈顆粒支持。

12. BH-35

本孔位於上坪溪左岸高灘地，計畫路線里程 23K+606 附近，為垂直鑽孔，深度 8 公尺。深度 0.0~6.8 公尺為礫石層，礫石為圓至次圓狀，粒徑多

介 3~5 公分，最大亦可超過 30 公分，基質為砂及泥，排列呈顆粒支持。深度 6.8~8.0 公尺為泥質砂岩，含碳屑，具強烈生物擾動現象，無明顯層理。

13. BH-36

本孔位於上坪溪左岸高灘地，計畫路線里程 24K+374 附近，為垂直鑽孔，深度 8 公尺。深度 0.0~0.5 公尺為回填層；深度 0.5~8.0 公尺為礫石層夾粉土質砂，粒徑多介 3~15 公分，最大亦可超過 40 公分，基質多為砂及粉砂，惟 2.55~4.7 公尺為厚度超過 2 公尺之沉泥層。

14. BH-37

本孔位於上坪溪左岸高灘地，鄰近聯通管放水口及調整池，為垂直鑽孔，深度 15 公尺。深度 0.0~15.0 公尺為礫石層夾粉土質砂，粒徑多介 3~10 公分，最大亦可超過 40 公分，基質多為砂及泥。

三、推管段

1. BH-20

本孔位於台 3 線路旁，計畫路線里程 15K+520 附近，鄰近推管段工作井 W2，為垂直鑽孔，深度 20 公尺。深度 0.0~0.3 公尺為回填層，0.3~20.0 公尺為砂岩，中度至強烈生物擾動，層理不明顯。

2. BH-21

本孔位於台 3 線路旁，計畫路線里程 15K+821 附近，鄰近推管段工作井 W4，為垂直鑽孔，深度 20 公尺。深度 0.0~5.1 為回填層；深度 5.1~20.0 公尺為砂岩夾頁岩，層理約 50~60°，深度 17.8 公尺以下破碎夾泥。

3. BH-22

本孔位於台 3 線路旁，計畫路線里程 16K+053 附近，鄰近推管段工作

井 W4，為垂直鑽孔，深度 20 公尺。深度 0.0~0.4 公尺為回填層；深度 0.4~7.8 公尺為砂岩與頁岩互層，層理向下漸陡，約由 10°至轉 40°；深度 7.8~9.1 公尺為煤層；深度 9.1~20.0 公尺為砂岩夾砂頁岩互層，層理約 70°，具強烈剪切構造。

4. BH-23

本孔位於台 3 線路旁，計畫路線里程 16K+271 附近，鄰近推管段工作井 W6，為垂直鑽孔，深度 20 公尺。深度 0.0~1.0 公尺為回填層；深度 1.0~7.2 公尺為砂岩夾頁岩，層理約 40~50°，局部具公分級之小錯動；深度 7.2~20.0 公尺為砂岩，強烈生物擾動，無明顯層理。

5. BH-24

本孔位於台 3 線路旁，計畫路線里程 17K+652 附近，鄰近推管段發進井，為垂直鑽孔，深度 15 公尺。深度 0.0~0.6 公尺為回填層；深度 0.6~7.6 公尺為礫石層；深度 7.6~9.4 公尺為泥岩；深度 9.4~15.0 公尺為砂岩偶夾泥塊，層理約 10~15°。

6. BH-29

本孔位於台 3 線路旁，計畫路線里程 20K+281 附近，鄰近推管段發進井，為垂直鑽孔，深度 15 公尺。深度 0.0~0.5 公尺為回填層；深度 0.5~0.7 公尺為礫石層；深度 0.7~6.4 公尺為粉砂岩，具輕微生物擾動現象，層理不明顯；深度 6.4~15.0 公尺為頁岩夾粉砂岩，層理約 10~15°，底部可見剪切現象(12.85~13.7 公尺)。

四、水管橋

1. BH-25

本孔位於油羅溪右岸階地，計畫路線里程 19K+713 附近，為垂直鑽孔，深度 30 公尺。深度 0.0~12.2 公尺為卵礫石層，礫石為圓至次圓狀，粒徑多

介 3~10 公分，最大亦可超過 40 公分，基質為細砂，排列呈顆粒支持；深度 12.2~17.8 公尺為細砂岩，膠結疏鬆，層理約 50°；深度 17.8~30.0 公尺為細砂岩夾薄層泥岩，膠結疏鬆，層理向下漸陡至接近 60°，局部可見小錯動。

2. BH-26

本孔位於油羅溪右岸階地，計畫路線里程 19K+764 附近，為垂直鑽孔，深度 30 公尺。深度 0.0~11.7 公尺為卵礫石層，礫石為圓至次圓狀，粒徑多介 3~10 公分，最大亦可超過 35 公分，基質為細砂，排列呈顆粒支持；深度 11.7~15.3 公尺為砂頁岩互層，層理約 50°；深度 15.3~30.0 公尺為砂岩偶夾頁岩，層理約 60°。

3. BH-27

本孔位於油羅溪左岸階地，計畫路線里程 19K+969 附近，為垂直鑽孔，深度 30 公尺。深度 0.0~10.0 公尺為卵礫石層，礫石為圓至次圓狀，粒徑多介 3~10 公分，最大亦可超過 40 公分，基質為細砂，排列呈顆粒支持；深度 10.0~16.4 公尺為砂岩夾薄層泥岩，層理約 15°；深度 16.4~20.4 公尺為頁岩；深度 20.4~30.0 公尺為砂岩夾薄層泥岩，層理約 20~30°。

4. BH-28

本孔位於油羅溪左岸階地，計畫路線里程 19K+995 附近，為垂直鑽孔，深度 30 公尺。深度 0.0~12.0 公尺為卵礫石層，礫石為圓至次圓狀，粒徑多介 3~10 公分，最大亦可超過 30 公分，基質為細砂，排列呈顆粒支持；深度 12.0~20.0 公尺為砂岩夾薄層泥岩，膠結疏鬆，層理約 20~30°；深度 20.0~30.0 公尺為粉砂岩及泥岩之互層，層理約 20~30°。

5. BH-30

本孔位於上坪溪右岸階地，計畫路線里程 21K+863 附近，為垂直鑽孔，

深度 30 公尺。深度 0.0~16.4 公尺為卵礫石層，礫石為圓至次圓狀，粒徑多介 3~20 公分，最大亦可超過 80 公分，基質為細砂，排列呈顆粒支持；深度 16.4~20.2 公尺為頁岩；深度 20.2~30.0 公尺為砂岩偶夾頁岩，層理約 30~40°，局部可見高角度(約 60~75°)之剪切構造。

6. BH-31

本孔位於上坪溪右岸階地，計畫路線里程 21K+887 附近，為垂直鑽孔，深度 30 公尺。深度 0.0~16.0 公尺為卵礫石層，礫石為圓至次圓狀，粒徑多介 3~20 公分，最大亦可超過 80 公分，基質為細砂，排列呈顆粒支持；深度 16.0~30.0 公尺為細砂岩夾頁岩(20.5~23.0 公尺)，砂岩可見輕微蜘蛛網狀破裂，並可見高角度(約 80°)泥縫，局部生物碎屑富集，層理約 30°。

7. BH-32

本孔位於上坪溪左岸階地，計畫路線里程 22K+156 附近，為垂直鑽孔，深度 30 公尺。深度 0.0~19.37 公尺為礫石層，礫石為圓至次圓狀，粒徑多介 2~10 公分，最大亦可超過 40 公分，基質為細砂；深度 19.37~30.0 為棕黃色礫岩夾泥質砂岩，礫岩排列呈基質支持，泥質砂岩膠結疏鬆，遇水易軟化，層理約 30°。

8. BH-33

本孔位於上坪溪左岸階地，計畫路線里程 22K+197 附近，為垂直鑽孔，深度 30 公尺。深度 0.0~16.1 公尺為礫石層，礫石為圓至次圓狀，粒徑多介 2~10 公分，最大亦可超過 40 公分，基質為細砂，排列呈顆粒支持；深度 16.1~30.0 公尺為棕黃色泥質砂岩夾礫岩層，膠結疏鬆。

3.4 現地及室內試驗

3.4.1 現地試驗

一、標準貫入試驗

標準貫入試驗係為求得地層之標準貫入值，做為研判地層緊密與否與性質變化之重要依據，將採樣器打入地層中取得具代表性之土樣，同時記錄取樣器貫入時土壤對其之阻抗。其試驗是以 63.5 公斤重之鐵錘，自由落距為 76 公分，將標準貫入試驗所用之採樣器打入 45 公分或打擊數達 100 次為止，後 30 公分所需錘擊之次數，即稱為標準貫入 N 值，本工作完成 169 組標準貫入試驗，試驗結果詳見附錄四。

二、岩盤透水試驗

岩盤透水試驗係於鑽進期間，以氣壓式封塞隔開試驗段與非試驗段，再用泵浦將水加壓送入試驗段，並使水滲入試驗段的岩體中，定壓定時的量測滲漏量，可求得岩體之滲透係數。

本次現地透水試驗實際進行 7 組，試驗結果整理如表 3-3，岩盤透水試驗紀錄表詳如附錄三，其中石底層岩性為頁岩夾砂岩或砂頁岩互層，透水度介於 0.52~15.78 Lugeon；南莊層主要岩性為砂岩夾薄頁岩，透水度約 0.15~51.40 Lugeon。

表 3-3 岩盤透水試驗成果表

編號	孔號	深度區間	長度	平均 RQD	透水度	地層	岩性
		(m)	(m)	(%)	(Lugeon)		
1	BH-2	13.0~15.0	2.0	0	15.78	石底層	砂岩
2	BH-3	49.0~50.0	1.0	43	0.52	石底層	砂頁岩互層
3	BH-4	35.5~36.5	1.0	0	11.84	石底層	頁岩
4	BH-5	60.0~65.0	5.0	59	51.40	南莊層	粉砂岩
5	BH-5	78.0~83.0	5.0	40	2.50	南莊層	粉砂岩
6	BH-5	101.0~105.0	4.0	46.8	4.00	南莊層	頁岩夾薄砂岩
7	BH-7	32.0~35.0	3.0	4	0.15	南莊層	粉砂岩

3.4.1 室內試驗

一、室內土壤試驗

室內土壤試驗係為瞭解本計畫路線土層之基本參數，試體來源為配合鑽探過程進行之標準貫入試驗或薄管取樣所得。由於計畫執行過程中未取得適合之薄管土樣，故本階段僅進行土壤一般物理性質試驗。

土壤一般物理性質試驗目的為測定土樣之基本物理性質，試驗項目包括含水量、單位重、阿太堡試驗、粒徑分析、土壤分類及比重，本階段共完成 19 組土壤一般物理性質試驗，試驗成果如表 3-4，詳細試驗成果可參考附錄四。

表 3-4 土壤一般物理性質試驗成果表

孔號	樣號	深度區間	SPT-N	粒徑分析 (%)				土壤分類	含水量	阿太堡試驗			單位重	比重	孔隙比
		(m)		Gravel	Sand	Silt	Clay		(%)	LL	PL	PI	(t/m ³)	(-)	(-)
BH-11	S-1	1.05~1.50	7	23.8	34.2	30.9	11.1	SM	21.4	-	-	-	1.97	2.64	0.63
BH-11	S-5	7.05~7.50	51	0.0	4.2	63.4	32.4	CL	26.1	33.4	21.4	12.0	1.91	2.72	0.80
BH-14	S-1	1.05~1.50	6	25.6	39.5	25.7	9.2	SM	18.0	-	-	-	1.91	2.63	0.64
BH-14	S-2	2.55~3.00	7	23.7	32.7	33.1	10.5	SM	17.1	-	-	-	1.94	2.64	0.59
BH-14	S-3	4.05~4.50	9	22.4	34.4	31.8	11.4	SM	18.1	-	-	-	1.95	2.66	0.61
BH-15	S-1	1.05~1.50	10	24.1	32.4	32.0	11.5	SM	20.4	-	-	-	2.05	2.65	0.56
BH-15	S-2	2.55~3.00	9	26.9	36.6	26.9	9.6	SM	20.6	-	-	-	2.03	2.64	0.57
BH-17	S-1	1.05~1.50	8	25.7	38.5	26.4	9.4	SM	32.6	-	-	-	1.85	2.64	0.89
BH-17	S-2	2.55~3.00	6	25.9	38.8	25.4	9.9	SM	14.2	-	-	-	2.20	2.66	0.38
BH-18	S-1	1.05~1.50	6	21.4	36.1	31.3	11.2	SM	20.2	-	-	-	2.06	2.65	0.55
BH-18	S-2	2.55~3.00	6	21.8	36.7	30.5	11.0	SM	14.9	-	-	-	2.11	2.66	0.45
BH-18	S-3	4.05~4.50	6	22.6	37.0	29.7	10.7	SM	15.6	-	-	-	2.14	2.64	0.43
BH-18	S-4	5.55~6.00	7	25.8	40.2	25.0	9.0	SM	12.7	-	-	-	2.20	2.65	0.36
BH-18	S-5	7.05~7.50	7	0.0	8.0	60.1	31.9	CL	29.6	32.6	21.6	11.0	1.83	2.73	0.94
BH-18	S-6	8.55~9.00	10	27.6	37.3	25.8	9.3	SM	16.7	-	-	-	2.11	2.64	0.46
BH-19	S-1	1.05~1.50	10	27.4	38.7	25.0	8.9	SM	21.4	-	-	-	1.90	2.65	0.69
BH-19	S-2	2.55~3.00	8	22.5	37.2	29.7	10.6	SM	19.6	-	-	-	1.93	2.64	0.64

二、室內岩石試驗

岩石一般物理性質試驗與力學試驗針對本計畫隧道段(BH-1~BH-5、BH-7)、三段推管段(BH-20~24、BH-29)以及兩座跨距較大之水管橋(BH-25~BH-28、BH-30~BH-33)進行選樣，以作為後續設計分析依據。本計畫完成之岩石室內項目包含岩石一般物理性質試驗 38 組、岩石單軸壓縮試驗 36 組、岩石弱面直剪試驗 33 組、岩石三軸壓縮試驗 8 組以及岩石靜、動彈性試驗 12 組，詳細試驗數據可參考附錄五，相關成果綜整如下：

1. 岩石一般物理性質試驗

本試驗目的為測定岩石材料之物理性質，試驗項目包括含水量、單位重、孔隙率及比重，試驗成果如表 3-5。

表 3-5 岩石一般物理性質試驗成果表

孔號	深度區間	地層	岩性描述	比重	含水量	單位重	孔隙比
	(m)			(-)	(%)	(g/cm ³)	(-)
BH-1	50.00~50.20	石底層	灰色頁岩	2.77	4.40	2.59	0.12
BH-3	37.35~37.45	石底層	灰色砂頁岩	2.72	4.08	2.52	0.12
BH-3	49.30~49.70	石底層	灰色頁岩	2.83	1.33	2.57	0.12
BH-4	70.00~70.50	南莊層	灰色砂岩	2.68	2.88	2.49	0.11
BH-4	83.00~83.50	南莊層	灰色頁岩	2.73	4.11	2.56	0.11
BH-5	27.30~27.50	南莊層	灰色頁岩	2.79	4.51	2.59	0.13
BH-5	59.60~59.70	南莊層	灰色砂岩	2.69	1.63	2.61	0.05
BH-5	98.10~98.30	南莊層	灰色砂岩	2.69	1.79	2.55	0.07
BH-20	7.30~7.70	南莊層	灰色砂岩	2.68	7.49	2.39	0.21
BH-20	9.35~9.45	南莊層	灰色砂岩	2.68	3.02	2.48	0.11
BH-21	8.50~8.80	南莊層	黃棕色砂岩	2.64	6.08	2.42	0.16
BH-21	11.15~11.25	南莊層	灰色砂岩	2.63	4.64	2.42	0.14
BH-22	11.10~11.30	南莊層	灰色砂頁岩	2.73	6.21	2.42	0.20
BH-22	12.00~12.30	南莊層	灰色頁岩夾砂岩	2.75	6.39	2.47	0.19

孔號	深度區間	地層	岩性描述	比重	含水量	單位重	孔隙比
	(m)			(-)	(%)	(g/cm ³)	(-)
BH-23	7.00~7.20	南莊層	灰色泥質砂岩	2.70	8.10	2.29	0.28
BH-23	7.80~8.00	南莊層	灰色砂岩	2.67	8.66	2.31	0.26
BH-24	7.70~7.80	卓蘭層	灰色泥頁岩	2.74	10.6	2.28	0.33
BH-24	9.50~9.80	卓蘭層	灰色砂岩	2.66	6.99	2.12	0.34
BH-25	14.50~14.70	卓蘭層	灰色砂岩	2.69	11.6	2.24	0.34
BH-25	20.30~20.50	卓蘭層	灰色砂岩	2.65	10.7	2.14	0.37
BH-26	13.15~13.35	卓蘭層	灰色砂岩	2.67	11.4	2.22	0.34
BH-26	17.00~17.35	卓蘭層	灰色砂頁岩	2.72	9.33	2.22	0.34
BH-27	12.60~13.00	卓蘭層	灰色砂岩夾頁岩	2.72	10.0	2.32	0.29
BH-27	17.60~17.90	卓蘭層	灰色砂頁岩	2.74	7.83	2.38	0.24
BH-29	6.40~6.70	卓蘭層	灰色砂頁岩	2.75	9.52	2.35	0.28
BH-29	7.10~7.40	卓蘭層	灰色砂頁岩	2.73	8.90	2.31	0.29
BH-30	21.30~21.60	楊梅層	灰色泥質砂岩	2.69	12.5	2.11	0.43
BH-30	28.10~28.20	楊梅層	灰色砂頁岩	2.64	4.71	2.15	0.29
BH-31	16.20~16.60	楊梅層	灰色砂頁岩	2.73	9.84	2.34	0.28
BH-31	20.75~20.85	楊梅層	灰色頁岩	2.73	9.34	2.39	0.25

2. 岩石單軸壓縮試驗

本試驗目的在求取完整岩心於單軸受壓發生壓縮破壞，單位面積所承受之極限荷重，作為岩心之強度分析及各項岩石力學分析、設計與施工之依據，試驗成果如表 3-6。

表 3-6 岩石單軸壓縮試驗成果表

孔號	深度區間	地層	岩性描述	單壓強度 q_u
	(m)			(kg/cm ²)
BH-1	45.00~45.30	石底層	灰色頁岩	0.69
BH-3	31.00~31.50	石底層	灰色頁岩	1.14

孔號	深度區間	地層	岩性描述	單壓強度 q_u
	(m)			(kg/cm ²)
BH-3	39.50~39.80	石底層	灰色砂岩	1.99
BH-4	21.00~21.30	石底層	灰色頁岩	4.48
BH-4	64.20~64.50	南莊層	灰色砂岩	571
BH-4	82.10~82.30	南莊層	灰色砂頁岩	16.5
BH-5	27.30~27.50	南莊層	灰色砂岩	193
BH-5	36.60~37.00	南莊層	灰色砂岩	141
BH-5	74.00~74.30	南莊層	灰色砂岩	545
BH-20	7.30~7.70	南莊層	灰色砂岩	13.3
BH-21	8.50~8.80	南莊層	黃棕色砂岩	5.78
BH-21	12.80~13.00	南莊層	灰棕色砂岩	104
BH-22	7.10~7.50	南莊層	灰色頁岩夾砂岩	0.32
BH-22	12.00~12.30	南莊層	灰色頁岩夾砂岩	8.34
BH-23	3.10~3.30	南莊層	灰色泥頁岩	0.44
BH-24	7.70~8.00	卓蘭層	灰色泥頁岩	3.16
BH-24	9.50~9.80	卓蘭層	灰色砂岩	9.87
BH-25	14.50~14.70	卓蘭層	灰色砂岩	5.70
BH-26	13.15~13.35	卓蘭層	灰色砂岩	11.0
BH-26	17.60~17.80	卓蘭層	灰色泥頁岩	9.68
BH-27	12.60~13.00	卓蘭層	灰色砂岩夾頁岩	44.2
BH-27	18.00~18.40	卓蘭層	灰色頁岩	16.4
BH-29	5.00~5.30	卓蘭層	灰色砂岩	21.4
BH-29	7.60~8.00	卓蘭層	灰色頁岩	39.7
BH-30	21.30~21.60	楊梅層	灰色泥質砂岩	1.91
BH-31	16.20~16.60	楊梅層	灰色砂頁岩	9.80
BH-31	21.00~21.30	楊梅層	灰色頁岩	0.34

3. 岩石弱面直剪試驗

本試驗目的在求取岩心試體所含弱面或層面之剪力強度參數，作為岩盤穩定性及基礎承載力分析。本階段共完成 33 組岩石弱面直剪試驗，試驗成果如表 3-7。

表 3-7 岩石弱面直剪試驗成果表

孔號	深度區間	地層	岩性描述	殘餘凝聚力 C_r	殘餘摩擦角 ϕ_r
	(m)			(kg/cm ²)	(°)
BH-3	37.35~37.45	石底層	灰色砂頁岩	1.47	22.3
BH-3	49.00~49.30	石底層	灰色頁岩	0.113	15.1
BH-4	23.70~24.00	石底層	灰色砂頁岩	0.32	18.3
BH-4	67.30~67.50	南莊層	灰色砂岩	0.227	15.8
BH-4	83.00~83.50	南莊層	灰色頁岩	0.903	24.3
BH-5	59.60~59.70	南莊層	灰色砂岩	1.70	35.6
BH-5	98.10~98.30	南莊層	灰色砂岩	2.18	30.9
BH-5	108.60~108.80	南莊層	灰色砂岩	0.730	17.7
BH-20	9.35~9.45	南莊層	灰色砂岩	0.797	20.8
BH-21	9.60~9.80	南莊層	灰色砂頁岩	0.226	30.1
BH-21	11.15~11.25	南莊層	灰色砂岩	2.66	33.8
BH-22	11.10~11.30	南莊層	灰色砂頁岩	0.515	21.1
BH-22	13.10~13.30	南莊層	灰色砂岩	0.507	25.6
BH-23	7.80~8.00	南莊層	灰色砂岩	0.325	24.0
BH-25	20.30~20.50	卓蘭層	灰色砂岩	0.516	30.5
BH-26	13.40~13.60	卓蘭層	灰色砂岩	0.417	27.1
BH-26	17.00~17.30	卓蘭層	灰色砂頁岩	0.178	11.4
BH-27	13.40~13.60	卓蘭層	灰色砂頁岩	2.48	14.8
BH-27	17.60~17.90	卓蘭層	灰色砂頁岩	3.31	21.6
BH-29	7.10~7.40	卓蘭層	灰色砂頁岩	0.477	24.2
BH-30	28.10~28.20	楊梅層	灰色砂頁岩	0.358	25.9
BH-31	19.60~19.80	楊梅層	灰色砂頁岩	1.40	14.3

孔號	深度區間	地層	岩性描述	殘餘凝聚力 C_r	殘餘摩擦角 ϕ_r
	(m)			(kg/cm ²)	(°)
BH-31	20.75~20.85	楊梅層	灰色頁岩	0.952	13.2

4. 岩石三軸壓縮試驗

本試驗目的為求取完整岩心在三軸受壓狀況下之剪力強度參數值，藉以評估岩盤強度參數，以進行岩盤穩定性及基礎承载力分析，試驗成果如表 3-8。

表 3-8 岩石三軸壓縮試驗成果表

孔號	深度區間	地層	岩性描述	尖峰凝聚力 C_p	尖峰摩擦角 ϕ_p	殘餘凝聚力 C_r	殘餘摩擦角 ϕ_r
	(m)			(kg/cm ²)	(°)	(kg/cm ²)	(°)
BH-3	49.30~49.70	石底層	灰色頁岩	3.13	53.15	2.11	45.71
BH-4	87.40~88.00	南莊層	灰色砂岩	12.68	77.81	4.6	47.49
BH-5	96.50~97.00	南莊層	灰色頁岩	3.85	49.21	2.07	30.57
BH-20	11.00~11.40	南莊層	灰色砂岩	4.36	54.79	1.84	22.1
BH-23	9.20~9.60	南莊層	灰色砂頁岩	2.06	39.19	0.69	25.24
BH-24	10.00~10.40	卓蘭層	灰色砂岩	3.27	39.62	0.94	20.18
BH-29	4.60~5.00	卓蘭層	灰色砂岩	2.99	50.91	1.23	20.61

5. 岩石靜、動彈性試驗試驗

本試驗目的在求得岩石材料之應力應變曲線，彈性模數和包松比等參數，作為後續工程設計、分析之參考。試驗成果如表 3-9。

表 3-9 岩石靜、動試驗成果表

孔號	深度 區間	地層	岩性 描述	靜彈性試驗			動彈性試驗	
				彈性 模數	柏松比	單壓強度	彈性 模數	柏松比
	(m)			(kg/cm ²)	(-)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(-)
BH-1	55.5 ~55.7	石底層	灰色 頁岩	30,221	0.38	9.35	53,700	0.41
BH-3	47.55 ~48.00	石底層	灰色 砂頁岩	16,508	0.40	3.97	95,100	0.43
BH-4	92.25 ~92.60	南莊層	灰色 砂岩	32,781	0.23	194	130,000	0.27
BH-5	97.4 ~97.6	南莊層	灰色 砂頁岩	21,406	0.21	27.3	53,900	0.42
BH-5	105.7 ~105.9	南莊層	灰色 砂岩	44,069	0.15	65.2	188,000	0.33
BH-20	10.1 ~10.4	南莊層	灰色 砂岩	12,247	0.48	35.1	33,900	0.37
BH-23	8.4 ~8.8	南莊層	灰色 砂岩	4,712	0.45	8.94	24,600	0.18
BH-24	11.6 ~11.85	卓蘭層	灰色 砂岩	5,555	0.45	19.1	7,600	0.17

3.5 地下水位量測

本計畫共埋設 33 處水位觀測井，於鑽探完成後進行至少 14 天之水位量測作業，期間每天至少 1 筆水位資料，水位觀測成果綜整如表 3-10 所示。

表 3-10 地下水位觀測紀錄表

鑽孔編號	鑽探深度	孔口高程	平均地下水位		量測日期
	(m)	(m)	深度 (m)	高程 (m)	
BH-2	20	222.01	4.77	217.24	111.9.13~111.10.13
BH-3	60	260.456	2.53	257.92	111.8.29~111.9.29
BH-4	100	309.47	26.83	282.64	111.8.31~111.10.1
BH-5	120	324.457	40.91	283.54	111.10.10~111.11.10
BH-7	45	227.096	3.69	223.40	111.10.28~111.11.20
BH-10	8	214.515	5.76	208.76	111.10.10~111.11.10
BH-11	8	174.317	3.75	170.57	111.10.12~111.11.12
BH-12	8	141.58	3.26	138.32	111.10.22~111.11.18
BH-13	8	142.448	3.38	139.07	111.10.25~111.11.17
BH-14	8	134.089	3.81	130.28	111.10.8~111.11.8
BH-15	8	142.288	3.91	138.37	111.10.9~111.11.9
BH-16	8	155.055	3.56	151.50	111.10.7~111.11.7
BH-17	8	169.292	3.61	165.68	111.10.4~111.11.4
BH-18	20	177.474	5.72	171.76	111.10.2~111.11.2
BH-19	8	176.41	1.22	175.19	111.9.30~111.10.31
BH-20	20	214.917	5.03	209.88	111.9.25~111.10.26
BH-21	20	217.601	5.22	212.38	111.9.29~111.10.30
BH-22	20	216.662	1.77	214.89	111.9.29~111.10.30
BH-23	20	213.514	2.59	210.93	111.10.1~111.11.1
BH-24	15	172.433	2.84	169.60	111.10.9~111.11.9
BH-25	30	151.458	8.26	143.20	111.9.24~111.10.25
BH-26	30	148.823	5.67	143.15	111.9.23~111.10.24
BH-27	30	152.253	8.71	143.55	111.9.14~111.10.15
BH-28	30	153.112	9.66	143.46	111.9.19~111.10.20

鑽孔編號	鑽探深度	孔口高程	平均地下水位		量測日期
	(m)	(m)	深度 (m)	高程 (m)	
BH-29	15	158.069	0.19	157.88	111.10.2~111.11.2
BH-30	30	141.254	13.14	128.11	111.9.23~111.10.24
BH-31	30	140.475	12.28	128.19	111.10.4~111.11.4
BH-32	30	135.587	7.95	127.64	111.11.6~111.11.20
BH-33	30	134.019	5.43	128.58	111.10.24~111.11.20
BH-34	8	142.625	6.69	135.93	111.11.4~111.11.20
BH-35	8	147.964	4.48	143.49	111.10.28~111.11.20
BH-36	8	156.935	7.97	148.96	111.10.5~111.11.5
BH-37	15	162.602	8.82	153.78	111.10.21~111.11.17

第四章 隧道段工程地質分析與綜合評估

4.1 地質條件

蒐集鄰近區域之地質調查成果及前期地表地質調查成果，並根據本階段地表地質調查、地質鑽探及現地與室內試驗成果，依鑽孔傾角與斷層特性重新檢視前期地質剖面，並綜合各項地質調查成果，更新並繪製隧道段之地質平、剖面圖，以下說明隧道及其沿線之地質特性。

4.1.1 隧道進口

隧道進口位於石門水庫左壩座中線道路上邊坡，邊坡為已開發之次生林及步道，其地表高程約 215 公尺。地表植生茂密且為崩積層所覆蓋，未見良好之露頭出露，僅北側坡面可見階地礫石層存在。依本計畫地質鑽探水平孔 BH-1 及垂直孔 BH-2、BH-3 共三孔成果顯示，本進口邊坡崩積層之垂直深度(厚度)約 8~9 公尺，其水平厚度可達 25 公尺；崩積層以下則為岩盤，其岩性以頁岩為主，岩體破碎，常見斷層角礫與斷層泥，且剪切構造發達，由水平孔 BH-1 來看，此岩體破碎之水平距離至少可深達 60 公尺，顯示進口區域受到斷層擾動影響。此外，由鄰近既有鑽孔顯示，該計畫之鑽孔 BH-3 中，可見破碎夾泥之砂頁岩互層覆蓋於礫石層之上，依地調所活動斷層定義屬於第二類活動斷層。因此，由地形特性、崩積層分布及斷層帶範圍評估，此進口需注意蝕溝侵蝕破壞及上邊坡淺層岩塊或土體的崩滑，並考量洞口相關邊坡之保護措施，以及鄰近斷層可能活動之影響。

4.1.2 隧道出口

隧道出口位於高種山南側，鳳山溪上游兩支流交會口山脊處，其地表高程約 220 公尺。現地植生茂密，山脊兩側零星可見露頭出露，岩性主要為厚層砂岩夾薄頁岩，砂岩層狀膠結良好、岩質堅實，局部呈層狀，大部分受生物擾動而使層理不明顯。依本計畫地質鑽探垂直孔 BH-7 成果顯示，崩積層厚度約 3 公尺，以下為岩盤，其中風化岩盤約 1.2 公尺，岩性以粉砂岩偶夾頁岩，岩體尚稱完整，然局部破碎或夾有破碎帶。依區域地質圖

顯示此岩性應屬於南莊層。因此，由地形特性與地層特性評估，此出水口屬於逆向坡，雖無明顯邊坡破壞之跡象，仍需注意開挖後上邊坡淺層岩屑崩滑之災害，並考量洞口相關邊坡之保護措施。

4.1.3 隧道沿線

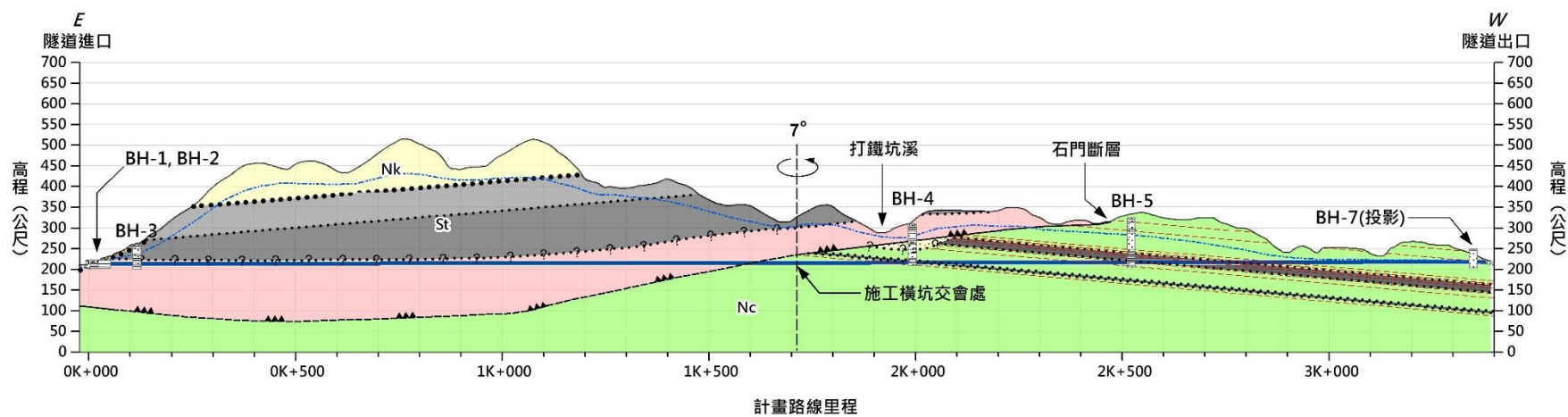
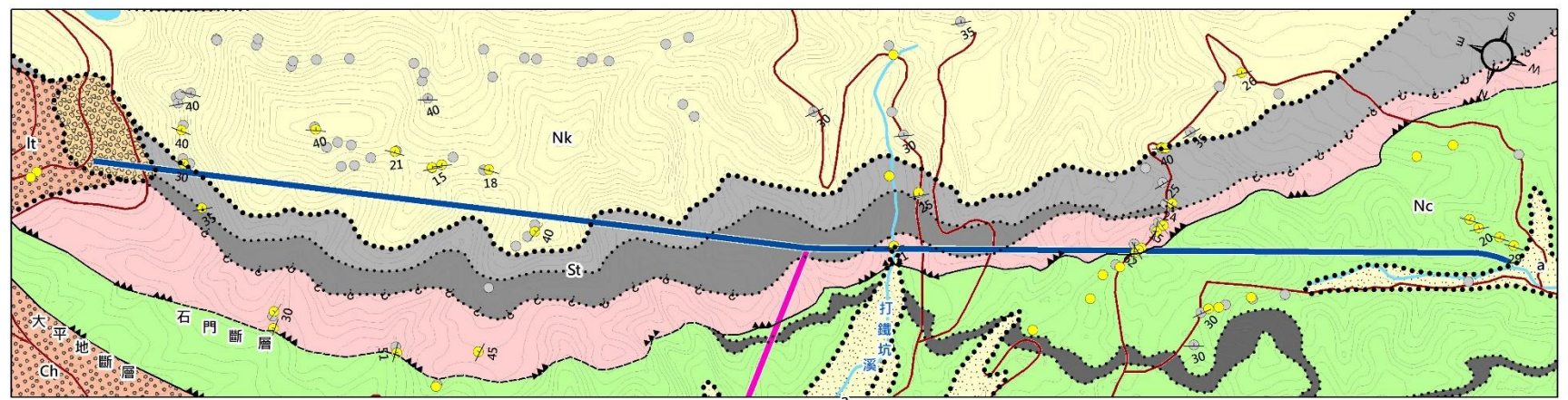
隧道由左壩座以東北向西南延伸至關西休息站東側附近，依地表地質調查成果，隧道於進口向西南至桃 29 鄉道之岩性由砂岩轉為砂頁岩互層，區域位態具一致性，約為 $N60\sim80^{\circ}E/30\sim60^{\circ}SE$ ，依區域地層之岩性特徵推測此兩岩性分別為南港砂岩與石底層；由桃 29 鄉道以西至隧道出口則為厚層砂岩夾薄頁岩，區域位態亦具一致性，約為 $N70\sim90^{\circ}E/15\sim25^{\circ}SE$ ，依區域地層之岩性特徵推測此岩性為南莊層。此外，鄰近桃 29 鄉道附近與隧道線型北側區域之調查點，可發現一群位態呈近南北走向、傾角變化大，且傾斜方向多變之地層，其岩性為砂頁岩互層，岩體裂隙發達，而此岩層位態與區域位態迥異，且其大致介於石底層與南莊層之間，因此，由區域位態與地層岩性差異來看，推估此岩層受斷層擾動影響，為石門斷層之擾動帶，而鄰近桃 29 鄉道以西附近，可能為石門斷層通過處。

由地電阻影像剖面 RIP-1 顯示，於隧道與粗坑路之交會處，可見一低電阻帶，可能為石門斷層及其擾動帶，並對照 BH-4 鑽孔岩心所見之斷層傾角(20~40 度)，推估斷層擾動帶於本區厚度約 60 公尺；由地電阻影像剖面 RIP-2 顯示，於隧道與桃 29 鄉道之交會處，亦可見一低電阻帶，可能為石門斷層及其擾動帶，推估斷層擾動帶於本區厚度約 40~50 公尺。參考石門大圳施工紀錄，於本計畫隧道沿線區域，石門斷層之擾動帶寬度由進口處向西，大致由 100~200 公尺縮減至 40~50 公尺。

依本計畫地質鑽探 BH-4、BH-5 成果，BH-4 於 42.9 公尺以上為破碎之頁岩夾薄砂岩，屬於石底層，並位於石門斷層擾動帶內，42.9~62.4 公尺間則為塊石或礫石層，推估 42.9 公尺處可能為石門斷層位置；62.4 公尺以下為斷層下盤之南莊層，岩性以粉砂岩為主。而 BH-5 為灰白色粉砂岩偶夾頁岩，屬於南莊層。據此，石門斷層應通過此兩孔間，且於 BH-4 鑽孔

42.9 公尺處可見岩盤與塊石層間之接觸關係為斷層接觸，然雖無相關定年資料，依地調所活動斷層定義之一：錯移階地堆積物或台地堆積層之斷層，則屬於第二類活動斷層，因此，評估該鑽孔之斷層可能具有活動性。

綜整既有地質資料及本計畫調查成果繪製隧道地質剖面如圖 4-1，隧道進口至路線里程 1K+535 為石門斷層之斷層擾動帶，長度約 1,535 公尺，岩性以頁岩為主，夾砂岩或砂頁岩互層，局部破碎、夾泥；里程 1K+535~1K+600 通過石門斷層，長度約 65 公尺，由斷層泥及斷層角礫岩組成；里程 1K+600 至隧道出口為南莊層之粉砂岩偶夾頁岩，岩體尚稱完整，然局部破碎或夾有破碎帶，可能成為導水通道，建議施工中進行前進探查。



剖面圖例

- 地層界線
- 岩性界線
- 岩性界線(推估)
- 逆斷層
- 逆斷層(推估或掩覆)
- 層間剪裂帶
- 推估地下水位

- 崩積層
- 塊狀砂岩偶夾頁岩
- 砂岩夾薄頁岩
- 砂頁岩互層
- 頁岩夾紋層砂岩
- 頁岩夾薄砂岩
- 斷層擾動帶

- Nc 南莊層
- Nk 南港層
- St 石底層

鑽孔圖例

- 回填層
- 崩積層
- 礫石層
- 細砂層
- 砂岩
- 生物碎屑砂岩
- 粉砂岩
- 砂頁岩互層
- 砂質頁岩
- 頁岩夾薄砂岩
- 頁岩
- 斷層泥及斷層角礫

圖 4-1 隧道段地質平剖面圖

4.1.4 施工橫坑

依據本計畫地質調查成果繪製施工橫坑地質剖面圖(如圖 4-2)，施工橫坑由洞口至與主隧道交會口(橫坑里程 0K+570.9)地層為南莊層之粉砂岩偶夾頁岩，岩體尚屬完整，由目前之資料推估，於交會口處接近石門斷層及其擾動帶，惟本階段於此區無直接調查資料，建議後續於橫坑洞口及岩線進行補充調查，以釐清石門斷層延伸方向。

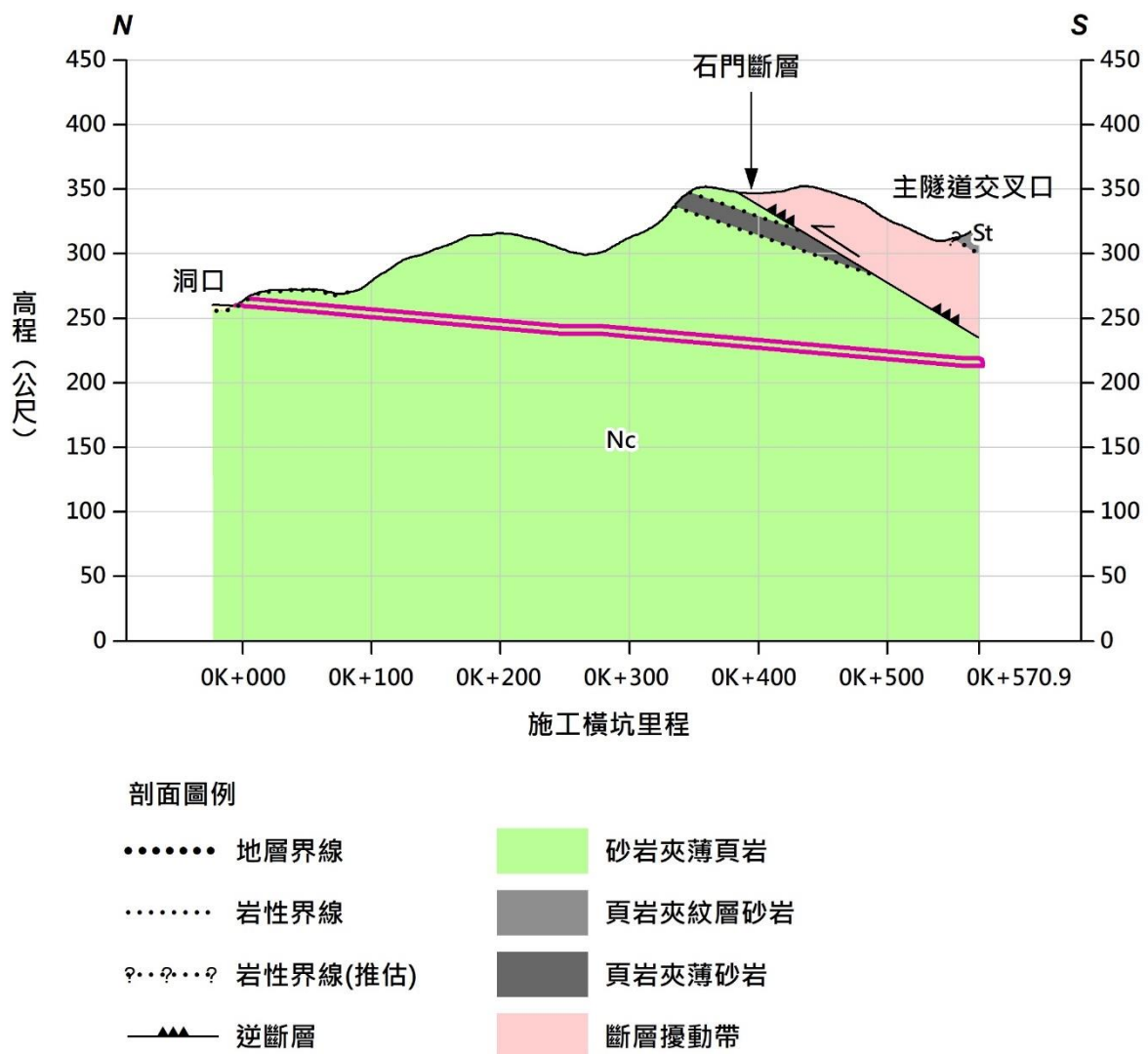


圖 4-2 施工橫坑地質平剖面圖

4.2 工程地質分析

4.2.1 試驗成果統計

本工作隧道沿線各鑽孔之試驗數量配置係以不同地層之不同岩性為統計分析單元，對於各種試驗種類之數據進行統計分析，作為計算岩體強度參數的參考。隧道段鑽探位置受限於地形及用地問題，且鄰近進口段之沿體亦多位於擾動帶內，較無完整之岩石樣品可供進行相關力學試驗，建議於細設階段由施工廠商於必要位置選取代表性岩體進行補充試驗。

綜合本階段與鄰近既有試驗成果進行分析，各地層及岩性之岩石力學參數統計如表 4-1。

表 4-1 隧道沿線地層岩石力學參數表

地層	岩性	一般物理性質		單壓強度	三軸試驗		動彈性試驗		靜彈性試驗		弱面直剪試驗	
		單位重	含水量		尖峰 凝聚力 C_p	尖峰 摩擦角 ϕ_p	彈性 模數	柏松 比	彈性 模數	柏松 比	殘餘 凝聚力 C_r	殘餘 摩擦角 ϕ_r
		(g/cm ³)	(%)		(kg/cm ²)	(°)	(kg/cm ²)	(-)	(kg/cm ²)	(-)	(kg/cm ²)	(°)
斷層擾動帶	頁岩	2.57~2.59	1.33~4.40	0.69~9.35 (1.79)	3.13	53.1	53,700	0.41	30,221	0.38	0.11~0.98 (0.56)	15.1~26.6 (20.7)
	砂頁岩 互層	2.52~2.57	1.33~4.08	1.49~3.97	-	-	95,100	0.43	16,508	0.40	0.32~1.47	18.3~22.3
南莊層	粉砂岩/ 砂岩夾薄頁 岩	2.49~2.61	1.63~2.88	65.20~571 (232.84)	12.68~15.66 (14.12)	77.8~79.1 (78.3)	130,000 ~188,000	0.27 ~0.33	32,781 ~44,096	0.15 ~0.23	0.23~1.70 (0.89)	15.8~35.6 (27.4)
	頁岩	2.56~2.59	4.11~4.51	16.50~27.30	3.85	49.2	53,900	0.42	21,406	0.21	0.90	24.3

註：試驗數量 3 組以上才取平均，() 表平均值

4.2.2 岩體類別分布

根據「台灣岩體分類與隧道支撐系統(PCCR 系統)」岩體分類法依據地質材料特性、岩體相關強度特性、岩體對水的敏感性，並參考岩層地質年代劃分岩盤為 A、B、C、D 四種類別，其中 A 岩類之強度高於中強岩石 ($>250\text{kg/cm}^2$)，B 岩類之強度為弱岩 ($50\sim250\text{kg/cm}^2$)，C 岩類之強度小於弱岩 ($<50\text{kg/cm}^2$)，D 岩類則為以粗顆粒為主夾有細粒料之複合地質材料，進而依據各岩盤類別工程特性，以適當之定量或定性岩體評級標準辦理岩體分級，本計畫隧道通過之石底層及南莊層皆屬 A 岩類。

依本計畫調查成果，隧道進口至出口通過之地層依序為石底層(斷層擾動帶)、石門斷層及南莊層。通過石門斷層擾動帶區段之岩體等級 A_V 、 A_{VI} 分別佔 40%與 60%；通過石門斷層區段之岩體等級均為 A_{VI} ；通過南莊層之區段，考量其岩性及夾有層間剪裂之情況，以砂岩為主之區段，岩體等級 A_{II} 、 A_{III} 、 A_{IV} 、 A_V 及 A_{IV} 分別各佔 1%、39%、30%、25%及 5%；而南莊層頁岩為主之區段，岩體等級 A_{III} 、 A_{IV} 、 A_V 及 A_{IV} 分別各佔 30%、40%、25%及 5%；另隧道進、出口及與施工橫坑之交叉口則不評級。

依上述原則評估規劃隧道之岩體分類統計見表 4-2，經統計岩體等級 A_{II} 長度為 14.75 公尺，佔隧道全長之 0.44%；岩體等級 A_{III} 長度為 657.75 公尺，佔 19.45%；岩體等級 A_{IV} 長度為 522.50 公尺，佔 16.34%；岩體等級 A_V 長度為 1,040.30 公尺，佔 30.76%；岩體等級 A_{VI} 長度為 1056.7 公尺，佔 31.24%，實際分類需視現場情形調整。

表 4-2 隧道段基本設計階段岩體分類評估表

里程	統計	岩體分類						小計
		A _I	A _{II}	A _{III}	A _{IV}	A _V	A _{VI}	
0K+000~0K+028 (洞口段)	百分比(%)	-	-	-	-	-	-	-
	長度(m)	-	-	-	-	-	-	28
0K+028~1K+535 (斷層擾動帶)	百分比(%)	0	0	0	0	40	60	100
	長度(m)	0	0	0	0	602.80	904.20	1,507
1K+535~1K+600 (石門斷層)	百分比(%)	0	0	0	0	0	100	100
	長度(m)	0	0	0	0	0	65	65
1K+600~1K+703 (南莊層砂岩段)	百分比(%)	0	1	39	30	25	5	100
	長度(m)	0	1.03	40.17	30.90	25.75	5.15	103
1K+703~1K+713 (施工橫坑交叉口)	百分比(%)	-	-	-	-	-	-	-
	長度(m)	-	-	-	-	-	-	10
1K+713~1K+995 (南莊層砂岩段)	百分比(%)	0	1	39	30	25	5	100
	長度(m)	0	2.82	109.98	84.6	70.5	14.1	282
1K+995~2K+055 (南莊層頁岩段)	百分比(%)	0	0	30	40	25	5	100
	長度(m)	0	0	18.00	24.00	15.00	3.00	60
2K+055~2K+550 (南莊層砂岩段)	百分比(%)	0	1	39	30	25	5	100
	長度(m)	0	4.95	193.05	148.50	123.75	24.75	495
2K+550~2K+765 (南莊層頁岩段)	百分比(%)	0	0	30	40	25	5	100
	長度(m)	0	0	64.50	86.00	53.75	10.75	215
2K+765~3K+360 (南莊層砂岩段)	百分比(%)	0	1	39	30	25	5	100
	長度(m)	0	5.95	232.05	178.50	148.75	29.75	595
3K+360~3K+382 (隧道出口)	百分比(%)	-	-	-	-	-	-	-
	長度(m)	-	-	-	-	-	-	22
合計*	百分比(%)	0	0.44	19.45	16.34	30.76	31.24	100
	長度(m)	0	14.75	657.75	552.5	1040.3	1056.7	3322*

*不含隧道進、出口及施工橫坑交叉口

4.3 隧道特殊地質評估

隧道特殊地質評估係根據行政院公共工程委員會辦理「台灣地區隧道岩體分類系統暨隧道工程資料庫之建立研究計畫」(民國 92 年)之成果，分成七種特殊地質地盤，包括擠壓性地盤、膨脹性地盤、岩爆性地盤、湧水性地盤、有害氣體性地盤、地熱地盤、斷層破碎帶等，並將評估作業分為四個階段，可行性階段、規劃階段、設計階段、施工階段，對各階段分別建議評估之標準及不同評級結果之對策。本計畫目前為基本設計階段，故根據設計階段之建議標準進行隧道特殊地質評估，延續規劃階段評估結果，本隧道工程將遭遇擠壓性地盤、湧水性地盤、有害氣體性地盤、斷層破碎帶等，以下依據設計階段評估原則將結果分別說明：

4.3.1 擠壓性地盤

擠壓(squeezing)為一種隧道開挖過程中，與時間有關的大變形現象，常導致隧道淨空不足、支撐破壞，甚至引起抽心坍塌等災害，為隧道工程常遇的問題。工程會建議設計階段擠壓性地盤之評級標準見表 4-3，除參考第 1 及 2 項，區域隧道經驗及地質調查結果之斷層寬度外，另考量覆蓋厚度及節理位態對於隧道擠壓之影響，採用表 4-3 中第(4)項公式做為評級參考，分析對於不同地層之單壓強度 σ_c 採用鄰近既有資料及本次試驗結果之平均值，石底層：頁岩為 1.79 kg/cm^2 ，砂頁岩互層為 2.73 kg/cm^2 ；南莊層：砂岩為 232.84 kg/cm^2 ，頁岩為 21.90 kg/cm^2 ，分析結果見圖 4-3。

表 4-3 工程會建議設計階段擠壓性地盤評級表

評估項目與描述	評分	描述
(1)依據區域隧道經驗，以地層曾發「擠壓現象」，對各地曾進行「擠壓潛能」分析		0：無擠壓 1：輕度擠壓 2：中度擠壓 3：高度擠壓 >4：嚴重擠壓
(a) 無擠壓現象	0	
(b) 有低度擠壓現象	1	
(c) 有中度擠壓現象	2	
(d) 有高度擠壓現象	3	
(e) 有嚴重擠壓現象	4	
(2)依據地表地質調查、震波探測、鑽孔探查結果，對隧道通過斷層、剪裂帶進行「擠壓潛能」分級		
(a) 無擠壓可能	0	

評估項目與描述	評分	描述
(i) 岩性佳，未發現斷層		
(b) 擠壓之可能性不高，惟無法完全排除	1	
(i) 有明確之斷層存在，其寬度小於 5 公尺		
(c) 有低度擠壓可能	1	
(i) 有明確之斷層存在，其寬度介於 5~10 公尺		
(d) 有中度擠壓可能	2	
(i) 有明確之斷層存在，其寬度介於 10~40 公尺		
(ii) $RQD \leq 30$ 且及夾泥之長度介於 5~10 公尺		
(e) 有高度擠壓可能	3	
(i) 存有台灣構造性大斷層		
(ii) 斷層帶寬度介於 40~80 公尺		
(iii) $RQD \leq 30$ 且及夾泥之長度介於 10~20 公尺		
(f) 有嚴重擠壓可能	4	
(i) 存有台灣構造性大斷層		
(ii) 斷層帶寬度介大於 80 公尺		
(iii) 斷層泥帶寬度大於 40 公尺		
(iv) $RQD \leq 30$ 且及夾泥之長度大於 20 公尺		
(3) Aydan 之方法，求得軟弱地層之岩石完整應力應變關係，依據隧道圍岩切向應變 ε_{θ}^a 對岩石彈性應變極值 ε_{θ}^e 之比值進行分級 η_p 、 η_s 、 η_f 為完整應力應變曲線完全塑性、殘餘塑性以及流動狀態應變界限對於彈性應變之比值		
(a) $\varepsilon_{\theta}^a / \varepsilon_{\theta}^e \leq 1$	0	
(b) $1 < \varepsilon_{\theta}^a / \varepsilon_{\theta}^e \leq \eta_p$	1	
(c) $\eta_p < \varepsilon_{\theta}^a / \varepsilon_{\theta}^e \leq \eta_s$	2	
(d) $\eta_s < \varepsilon_{\theta}^a / \varepsilon_{\theta}^e \leq \eta_f$	3	
(e) $\eta_f < \varepsilon_{\theta}^a / \varepsilon_{\theta}^e$	4	
(4) 強度因子 SI 與片理、劈理等不連續面位態 依據強度因子 SI ($SI = \sigma_c / \gamma H$)、片理、劈理等不連續面位態與隧道之相對關係，研判擠壓程度，其中 γ ：岩層單位重 H ：覆蓋厚度 β' ：隧道軸向與不連續面走向夾角		
(a) $SI > 3$ 、 $\beta' \geq 30^\circ$	0	
(b) $SI > 3$ 、 $\beta' < 30^\circ$	1	
(c) $3 \geq SI > 2$ 、 $\beta' \geq 30^\circ$	1	
(d) $3 \geq SI > 2$ 、 $\beta' < 30^\circ$	2	
(e) $SI < 2$ 、 $\beta' \geq 30^\circ$	3	
(f) $SI < 2$ 、 $\beta' < 30^\circ$	4	
(5) 穩定性指標 參考 Bhasin & Grimstad(1996)之建議，利用穩定性指標(stability index, $\sigma_{\theta} / \sigma_{cm}$)加以評量，其中		

評估項目與描述	評分	描述
σ_{θ} ：隧道周圍岩壁切線方向應力 σ_{cm} ：岩體單壓強度 ($\sigma_{\theta} = 0.7\gamma Q1/3$ MPa)		
(a) 無擠壓性	0	
(b) 輕度擠壓	1	
(c) 中度擠壓	2	
(d) 高度擠壓	3	
(6)數值分析成果 利用隧道數值模擬，考量岩體應變軟化與依時變形行為，依據分析成果，研判擠壓現象；應變量定義為隧道頂拱、側壁或仰拱位置淨空變位對最小開挖半徑之比值		
(a) 應變量 $\leq 1\%$	0	
(b) $1\% < \text{應變量} \leq 2\%$	1	
(c) $2\% < \text{應變量} \leq 5\%$	2	
(d) $5\% < \text{應變量} \leq 10\%$	3	
(e) $10\% < \text{應變量}$	4	

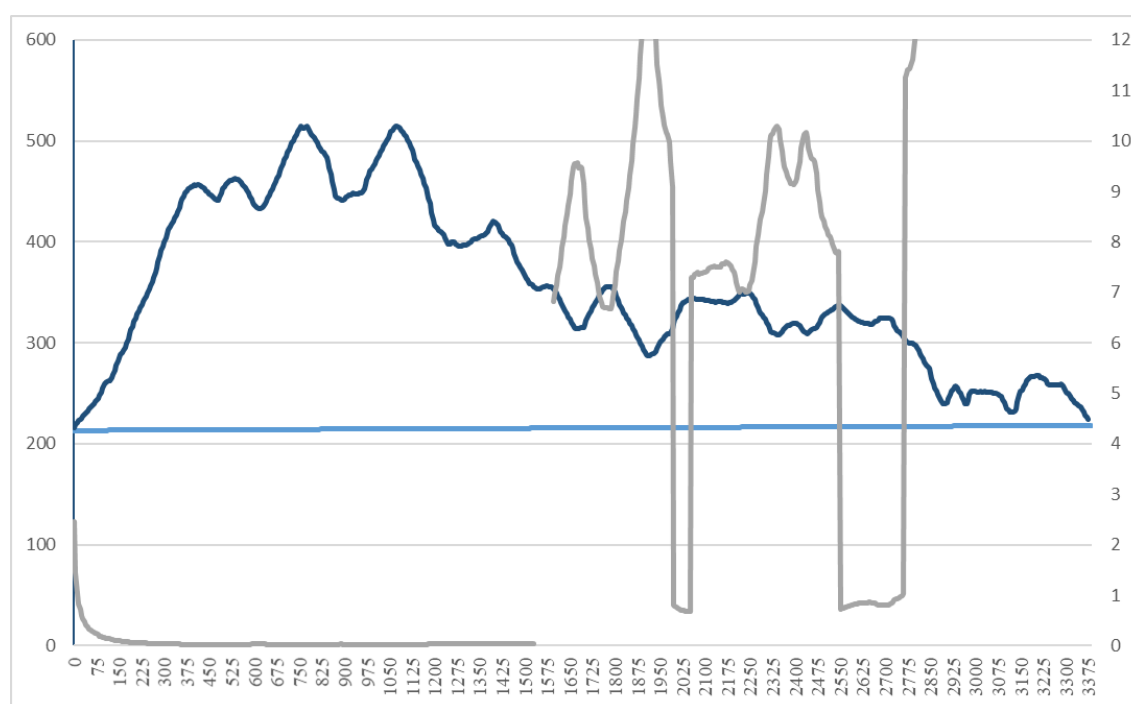


圖 4-3 隧道擠壓潛能分析圖

本計畫隧道擠壓性地盤評級結果如表 4-4，隧道進口段以後至 1K+535 遭遇石門斷層擾動帶，評分為 4 分(4f)，屬嚴重擠壓，其長度推估超過 1500 公尺；1K+535~1K+600 通過石門斷層，評分為 3 分(1d 或 2e)，長度推估約 65 公尺，以上兩段須特別注意。通過石門斷層後，南莊層里程

1K+995~2K+055 及 2K+550~2K+765，由於此兩段岩性以頁岩為主，隧道軸向亦與地層走向成小角度斜交($\beta' < 30^\circ$)，評分為 4 分，屬嚴重擠壓。

表 4-4 隧道段擠壓性地盤評級成果表

里程	地層	評分結果 (評級標準)	評級	佔隧道長度百分比
0K+000~1K+535	斷層擾動帶	4 (4f)	嚴重擠壓	45.4%
1K+535~1K+600	石門斷層	3 (1d, 2e)	高度擠壓	1.9%
1K+600~1K+995	南莊層	0	-	11.7%
1K+995~2K+055		4 (4f)	嚴重擠壓	1.7%
2K+055~2K+550		0	-	14.6%
2K+550~2K+765		4 (4f)	嚴重擠壓	6%
2K+765~3K+382		0	-	18.2%

4.3.2 湧水性地盤

隧道開挖過程常遭遇湧水性地盤，而嚴重時可造成災害或施工困難，形成湧水之地質條件有構造裂隙水、岩溶水及成岩裂隙水三類。構造裂隙水又可分為節理裂隙水及斷層裂隙水，此為台灣地區隧道湧水最常見的情況。在石灰岩、白雲岩及大理岩地區興建隧道，若穿過暗洞或水包等地段，可能發生大量湧水，即為岩溶水之情況。另外火成岩如熔岩等噴出岩，若岩石硬脆、裂隙發達、張開性強、連接性好，又有充分補給來源時，則水量豐富易形成湧水條件。

工程會建議設計階段湧水性地盤之研判準則見表 4-5，其中預估最大湧水量分析採用表 4-5 第(5)項公式。分析時隧道沿線地下水位採用本計畫推估之結果(如圖 4-4)，對於不同地層採用之透水係數參考既有調查及本次之透水試驗統計結果，各地層之透水度為石底層(斷層擾動帶內)為 0.52~15.78 Lugeon；南莊層砂岩為 0.15~51.40 Lugeon，頁岩為 4.00 Lugeon；另依鄰近既有岩層透水試驗成果，斷層擾動帶透水度約介 15~50 Lugeon，

故保守估計皆於擾動帶內地層採用 3×10^{-6} m/sec (1Lugeon= 10^{-7} m/sec)、南莊層砂岩採 1.4×10^{-6} m/sec、南莊層頁岩採 10^{-6} m/sec，分析結果見圖 4-4，顯示隧道最大湧水量約 2.4 l/sec-m。然考量路線里程 0K+000~1K+600 通過石門斷層及其擾動帶，依表 4-5 第(1)項，評估為輕度湧水；於里程 1K+900~1K+935 等通過打鐵坑溪河道、里程 2K+870~3K+150 因岩覆較低，並通過三處河溝，地表水易沿開口節理或層間剪裂帶滲入，故評估為輕度湧水。評估結果詳表 4-6。

表 4-5 工程會建議設計階段湧水性地盤評級表

評估項目與描述	評分	描述
(1)有斷層破碎帶	1	0：無 1~2：輕度 3~4：中度 >4：嚴重
(2)有岩溶水	1	
(3)有熔岩	1	
(4)RIP、震測成果顯示含水層存在	1	
(5)預估隧道最大湧水量 $q_0 = \frac{2\pi KH}{\ln\left(\frac{4H}{d}\right)} \times 1000 \text{ (單位：l/sec-m)}$		
(a) $q_0 < 35$	0	
(b) $q_0 = 35 \sim 100$	1	
(c) $q_0 = 101 \sim 300$	2	
(d) $q_0 \geq 300$	3	

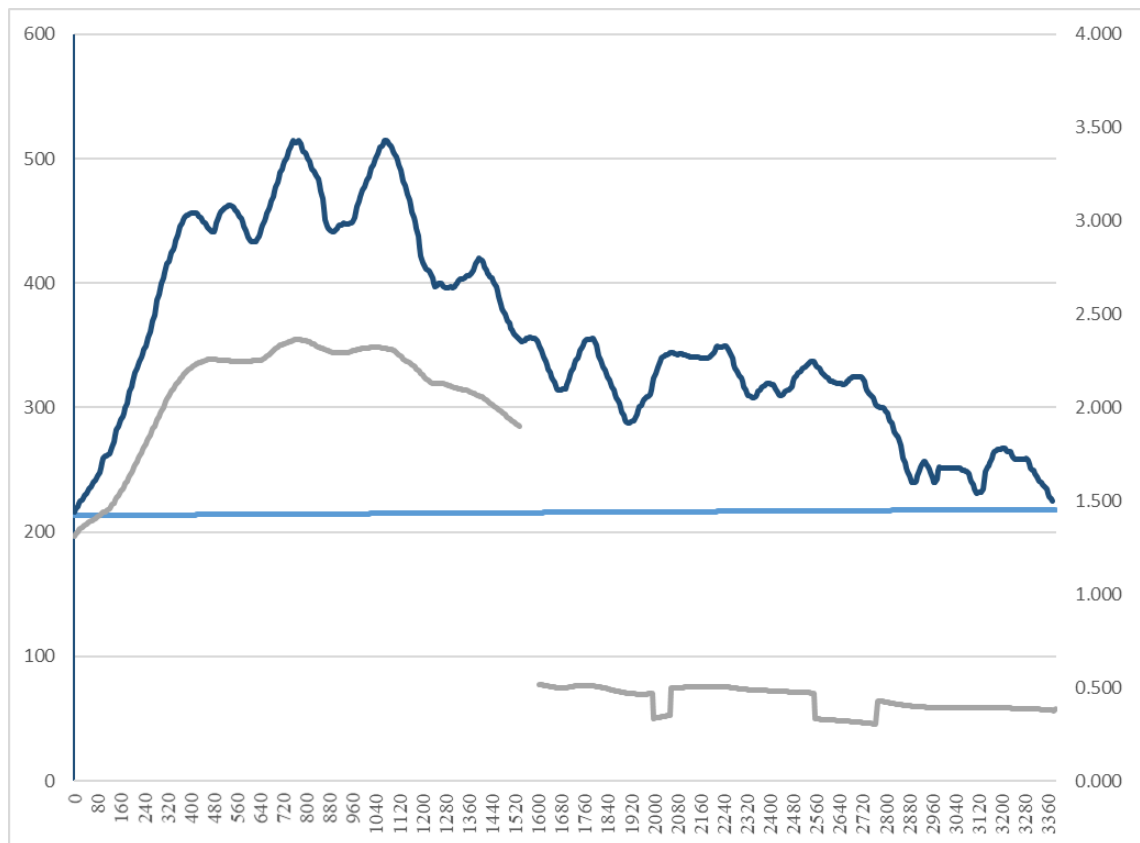


圖 4-4 隧道湧水潛能分析圖

表 4-6 隧道段湧水性地盤評級成果表

里程	地層	評分結果 (評級標準)	評級	佔隧道長度百分比
0K+000~1K+535	斷層擾動帶	1(1)	輕度	45.4%
1K+535~1K+600	石門斷層	1(1)	輕度	1.9%
1K+600~1K+900	南莊層	0	無	8.9%
1K+900~1K+935		1	輕度	1.0%
1K+935~2K+870		0	無	27.6%
2K+870~3K+150		1	輕度	8.3%
3K+150~3K+382		0	無	6.9%

4.3.3 有害性氣體地盤

長期埋於地下之各種有機物質，由於承受地殼變動產生之高溫及高壓作用而發生化學變化，部份進而演變成為石油、煤、各種可燃性及非可燃

性有害氣體，並蘊藏於地殼內，且有害性氣體大多為無色無味，亦具爆炸危險性，某些尚會引起中毒及缺氧現象，因此，隧道工程施工開挖過程中，有害性氣體若湧入隧道內，將對隧道內工作人員及機具設備之施工安全造成極大的危害。

工程會建議設計階段有害性氣體地盤之研判準則見表 4-7。套繪礦務局圖資，本計畫隧道段臨近並無既有礦坑，考量路線通過地層屬含煤地層，且石門斷層破碎帶可能為氣體移棲通路，可能將煤層捲入斷層帶中，故評估有可能含有害性氣體地盤里程為 0K+000~1K+600。里程 1K+600~3K+382 屬南莊層，於本階段調查歲未見明顯煤層，僅遇部分鑽孔岩心零星可見煤線或炭屑分布，然南莊層屬於含煤地層，故評估施工階段仍可能遭遇有害性氣體，建議施工時應進行監測。評估結果如表 4-8。

表 4-7 工程會建議設計階段有害性氣體地盤評級表

評估項目與描述	評分	描述
(1)文獻資料或場址附近之工程案例中曾遭遇過有害性氣體	1	0：無 1~2：有可能 3：極可能 ≥4：證實
(2)經現地勘查與訪查，場址證實或疑似為含有害性氣體之地盤	1	
(3)依可行性評估或規劃階段調查結果，顯示場址有遭遇有害性氣體之可能	2	
(4)經地表地質、鑽探或導坑等之調查結果，場址證實含有害性氣體之地盤	3	

表 4-8 隧道段有害性氣體地盤評級成果表

里程	地層	評分結果 (評級標準)	評級	佔隧道長度百分比
0K+000~1K+535	斷層擾動帶	2(3)	有可能	45.4%
1K+535~1K+600	石門斷層	2(3)	有可能	1.9%
1K+600~3K+382	南莊層	2(3)	有可能	52.7%

4.3.4 斷層破碎帶

評估隧道遭遇斷層破碎帶可能產生的地質危害，應由各類斷層材料性質來檢討，並配合環境現況的條件，評估其可能產生之湧水、擠壓、地熱、有害氣體等地質危害問題。

在台灣最常與斷層破碎帶伴生為湧水與擠壓問題，由於台灣山區地下水頗為豐富，故隧道開挖通過斷層破碎帶時，最常發生大量湧水及抽心的問題；另由於斷層破碎帶之岩體極為破碎，岩質甚為軟弱，常含有斷層泥，岩體的單壓強度甚低，在地下水的影響下造成岩體軟化鬆動，亦常發生擠壓的問題。若斷層破碎帶附近有溫泉區、含煤區、油田區、有機物腐化區、泥火山區或硫氣區等，亦容易成為有害氣體或地熱的流動通路，對隧道工程將可能產生有害氣體或地熱的問題。

工程會建議設計階段斷層破碎帶之研判準則見表 4-9，本隧道於里程 0k+000~1k+600 通過石門斷層及其擾動帶，依據本計畫調查成果、鄰近既有資料以及參考阿姆坪防淤隧道施工經驗，本斷層破碎帶寬度可能超過 100 公尺；另依本計畫鑽孔 BH-4、隧道進口北側既有鑽孔 BH-3 以及取水隧道鑽孔 BH-7，皆可見破碎夾泥之岩盤覆蓋於礫石層之上，依地調所活動斷層定義，可歸類第二類活動斷層。綜上，隧道里程 0k+000~1k+600 評分為 6 分(1、2、4)，評級為嚴重危害，估計長度約 1,600 公尺，評估結果如表 4-10。

表 4-9 工程會建議設計階段斷層破碎帶地盤評級表

評估項目與描述	評分	描述
(1)斷層破碎帶寬度大於 10 公尺	1	0：無 1~2：輕度 3~4：中度 >4：嚴重
(2)為活動斷層	3	
(3)中度以上湧水地盤	2	
(4)中度以上擠壓地盤	2	
(5)中度以上膨脹地盤	2	
(6)中度以上地熱地盤	2	
(7)中度以上有害氣體地盤	2	

表 4-10 隧道段斷層破碎帶地盤評級成果表

里程	地層	評分結果 (評級標準)	評級	佔隧道長度百分比
0K+000~1K+535	斷層擾動帶	6(1、2、4)	嚴重	45.4%
1K+535~1K+600	石門斷層	6(1、2、4)	嚴重	1.9%
1K+600~3K+382	南莊層	0	無	52.7%

4.3.5 特殊地質處理對策

根據前述隧道特殊地質評估結果，本計畫隧道於里程 0k+000~1k+600 通過石門斷層及其擾動帶，經評估為嚴重擠壓潛能性地盤、輕度湧水性地盤、可能含有害性氣體地盤及嚴重斷層破碎帶地盤；通過石底層煤層為有可能含有害性氣體地盤（亦可能遭遇廢棄煤坑），另通過 4 處可能含水層為輕度湧水性地盤，通過卓蘭層為輕度至高度擠壓潛能性地盤為主要之地質風險，參考工程會建議之設計階段各項地盤評級結果之因應對策見表 4-11。

表 4-11 設計階段對於特殊地質之評級標準及對策表

特殊地質	評分	描述	對策
擠壓性地盤	0	無	(1) 提高警覺
	1	輕度	
	2	中度	(1) 仔細確認設計參數與設計條件之足夠性與可靠性，評估是否需進行補充地質調查 (2) 加強案例研究，評估擠壓變形量，研究適用的工法 (3) 設計開挖方法、支撐系統、輔助工法，制定施工規範與監測計畫
	3	高度	(1) 檢討開挖導坑的必要性 (2) 由所獲地質資料建立數值分析模式、開挖與支撐施工管理模式，制定擠壓問題處理計畫 (3) 探討發包模式、承商處理相關地盤經驗或對策納入投標資格以及規定承商於施工初期制定擠壓段因應的施工計畫與備妥災變緊急處理所需之設備、材料等之必要性 (4) 成立專家小組，共同研擬或檢討上述因應措施的適當性，並提供進一步之建議
	4	嚴重	
湧水性地盤	0	無	-
	1~2	輕度	(1) 提高警覺
	3~4	中度	(1) 研擬施工中補充調查計畫
	> 4	嚴重	(1) 成立專家小組 (2) 擬訂湧水處理原則，排水與止水工法之採擇 (3) 擬訂湧水處理之輔助工法 (4) 擬訂隧道內襯之設計準則，包括採取排水或不排水隧道設計
有害性氣體地盤	0	無	(1) 正常作業
	1~2	有可能	(1) 加強文獻案例資料與現勘結果之核對研析
	3	極可能	(1) 徹底執行本階段之地表地質調查及鑽探取樣計畫，以確認沿線地層含有害性氣體之潛能 (2) 嚴格執行蒐集氣體及試驗分析計畫，以確認有害性氣體之種類、成份、濃度及壓力等，並預估其湧出量及分佈範圍等
	≥ 4	證實	(1) 設計前進探查孔或前進導坑等，供施工階段執行採用 (2) 制定日後施工階段之安全監測管理值 (3) 編列有害性氣體偵測器購置費，以利施工階段採購使用 (4) 制定隧道內安全風速、送風量、施工環境規範及遭遇有害性氣體或缺氧狀況之緊急應變訓練等相關規定，以利工地管理執行 (5) 編列止氣灌漿等輔助工法之相關費用，以利施工階段執

特殊地質	評分	描述	對策
			行採用 (6) 成立專家小組，共同研擬或檢討前述因應對策之適當性，並提供改進之對策建議
斷層破碎帶地盤	0	無	-
	1~2	輕度	(1) 提高警覺 (2) 研擬施工中之補充調查計畫
	3~4	中度	(1) 研擬施工中之補充調查計畫及相關施工規範 (2) 研擬施工工法或輔助工法及相關因應對策
	> 4	嚴重	(1) 成立專家小組 (2) 研擬施工中之補充調查計畫 (3) 擬訂處理原則與輔助工法 (4) 研擬緊急變應對策

4.4 工程地質綜合評估

4.4.1 隧道段

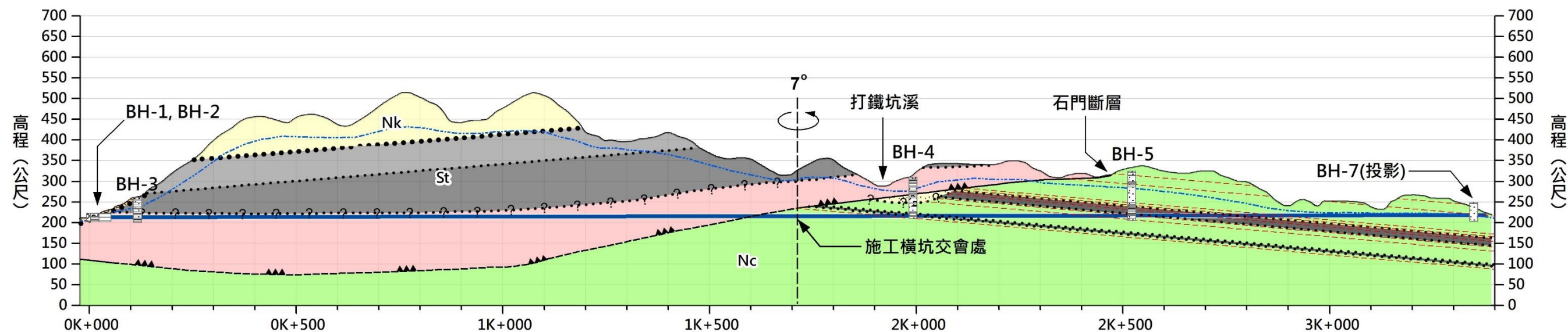
隧道里程 0K+000~0K+028 屬於隧道進口，此區崩積層之垂直深度(厚度)約 8~9 公尺，其水平厚度可達 25 公尺，需注意蝕溝侵蝕破壞及上邊坡淺層岩塊或土體的崩滑，並考量洞口相關邊坡之保護措施，以及鄰近斷層可能活動之影響。

隧道里程 0K+028~1K+535 通過石底層，長度 1,507 公尺，屬於 A 岩類，岩性以頁岩為主，夾砂岩或砂頁岩互層。本段位於石門斷層擾動帶內，因斷層破碎長度至少超過 50 公尺，並具有活動性，評估本段屬嚴重危害之斷層破碎帶，可能伴隨與嚴重擠壓及輕度湧水，另石底層之煤層可能捲入斷層中，有可能遭遇有害性氣體。

隧道里程 1K+535~1K+600 通過石門斷層，綜整既有施工紀錄、本階段鑽孔岩心及地電阻影像剖面成果，推估隧道通過主斷層之長度為 65 公尺，由斷層泥及斷層角礫岩所組成；根據隧道特殊地質評估結果，本段屬嚴重危害之斷層破碎帶，可能伴隨與嚴重擠壓及輕度湧水，另石底層之煤可能捲入斷層中，有可能遭遇有害性氣體。

隧道里程 1K+600~3K+360 通過南莊層，屬於 A 岩類，局部含有層剪剪裂，岩石單壓強度介 16.5~571 kg/cm²。其中，通過岩性以頁岩為主之區段(里程 1K+995~2K+055 及 2K+550~2K+765)，由於局部單壓強度較低，評估據嚴重擠壓可能；於里程 1K+900~1K+935 等通過打鐵坑溪河道、里程 2K+870~3K+150 因岩覆較低，並通過三處河溝，地表水易沿開口節理或層間剪裂帶滲入，故評估為輕度湧水；另南莊層屬於含煤地層，雖本階段未見煤層出露，施工時仍應進行監測。

隧道出口位於高種山南側，鳳山溪上游兩支流交會口山脊處，其地表高程約 220 公尺。岩性主要為厚層砂岩夾薄頁岩，砂岩層狀膠結良好、岩質堅實，大部分受生物擾動而使層理不明顯，岩體尚稱完整，然局部破碎或夾有破碎帶；另由地形特性與地層特性評估，此出水口屬於逆向坡，雖無明顯邊坡破壞之跡象，仍需注意開挖後上邊坡淺層岩屑崩滑之災害，並考量洞口相關邊坡之保護措施。



結構		洞口段 28m		隧道段			橫坑交叉口 10m		隧道段			洞口段 20m		
一般地質	岩覆(m)	0~50	50~200	200~292			50~200					10~40	0~50	
	地層	石底層(斷層擾動帶)			石門斷層		南莊層							
	岩性	頁岩為主，夾砂岩或砂頁岩互層			斷層泥/斷層角礫		砂岩偶夾薄頁岩	頁岩	砂岩偶夾薄頁岩		頁岩	砂岩偶夾薄頁岩		
	不連續面	B：E50~80N / 30~60S					B：E70~80N / 15~25S							
	地質描述	石底層為 A 岩類，本區位於斷層擾動帶範圍，高角度發達，岩體破碎、夾泥					本區南莊層屬 A 岩類，岩石膠結良好，岩體强度高；含層間剪裂							
特殊地質	擠壓性地盤	嚴重擠壓			高度擠壓		無	嚴重擠壓	無	嚴重擠壓	無			
	膨脹性地盤	可能												
	岩爆性地盤	無												
	湧水性地盤	輕度(擾動帶可能為阻水層，上覆岩層可能為含水層)			輕度		無	輕度(地表入水入滲)		無	輕度(地表入滲)	無		
	有害性氣體地盤	可能(斷層破碎帶可能為氣體移棲通道)					可能(南莊層為含煤地層，不排除具有有害性氣體)							
	地熱地盤	無												
	斷層破碎帶	嚴重					無							
工程地質	透水度(Lugeon)		0.52~15.78 (鄰近既有資料可達 50)					砂岩：0.15~51.4；頁岩：4.00						
	強度參數	單壓強度 (kg/cm²)	頁岩：0.69~9.35 (1.79) 砂頁岩互層：1.49~3.97					砂岩/粉砂岩夾薄層頁岩：65.2~571 (232.84) 頁岩：16.50~27.30						
		三軸強度 (kg/cm²；度)	頁岩：C _p =3.13； ϕ_p =53.1					砂岩/粉砂岩夾薄層頁岩：C _p =12.68~15.66 (14.12)； ϕ_p =77.8~79.1 (78.3) 頁岩：C _p =3.85； ϕ_p =49.2						
		弱面直剪 (kg/cm²；度)	頁岩：C _r =0.11~0.98 (0.56)； ϕ_r =15.1~26.6 (20.7) 砂頁岩互層：C _r =0.32~1.47； ϕ_r =18.3~22.3					砂岩/粉砂岩夾薄層頁岩：C _r =0.23~1.70 (0.89)； ϕ_r =15.8~35.6 (27.4) 頁岩：C _r =0.90； ϕ_r =24.3						
	變形參數	動彈性試驗 (kg/cm²)	頁岩：53,700 砂頁岩互層：95100					砂岩/粉砂岩夾薄層頁岩：130,000~188,000 頁岩：53,900						
		靜彈性試驗 (kg/cm²)	頁岩：30,221 砂頁岩互層：16,058					砂岩/粉砂岩夾薄層頁岩：32,781~44,096 頁岩：21,406						
	岩體等級：長度(m)/百分比		-	A _v : 602.8m (40%) A _{vi} : 904.2m (60%)			A _{vi} : 65m (100%)	-	A _{ii} : 4.95m A _{iii} :193.05m A _{vi} : 148.5m A _v : 123.75m A _v : 24.75m	A _{ii} : 2.82m A _{iii} :109.98m A _{vi} : 84.6m A _v : 70.5m A _v : 14.1m	A _{iii} :64.5m A _{vi} : 86.0m A _v : 53.75m A _v : 10.75m	A _{ii} : 5.95m A _{iii} :232.05m A _{vi} : 178.5m A _v : 148.75m A _v : 29.75m	-	

圖 4-5 隧道段工程地質剖面圖

4.4.2 橫坑

依據本計畫地質調查成果，施工橫坑由洞口至與主隧道交會口(橫坑里程 0K+570.9)地層為南莊層之粉砂岩偶夾頁岩，南莊層，屬於 A 岩類，局部含有層剪剪裂，岩石單壓強度介 16.5~571 kg/cm²。其中，頁岩之區段，由於局部單壓強度較低，可能有擠壓之情況產生。本階段於此區無直接調查資料，建議後續於橫坑洞口及沿線進行補充調查，以釐清石門斷層延伸方向。

第五章 明挖覆蓋段工程地質分析與綜合評估

5.1 地質條件

蒐集鄰近區域之地質調查成果及既有調查資料，並根據本階段地表地質調查、地質鑽探及現地與室內試驗成果，將本工程段分為竹 28-1 鄉道(里程 3K+400~5K+850)、台 3 線(里程 5K+850~22K+340)以及上坪溪左岸高灘地(里程 22K+340~25K+015)，說明如後。

5.1.1 竹 28-1 鄉道

本明挖覆蓋段位於竹 28-1 鄉道，由隧道出口起向西至與台 3 線交會處，長度約 2.4 公里。綜整鄰近既有鑽孔(資料來源：工程地質探勘資料庫，位置如圖 5-1)及本計畫鑽探調查成果，本路段覆蓋層厚度約 15~30 公尺，由卵礫石及粉土質砂所組成；其下為棕黃色砂岩與砂頁岩互層。

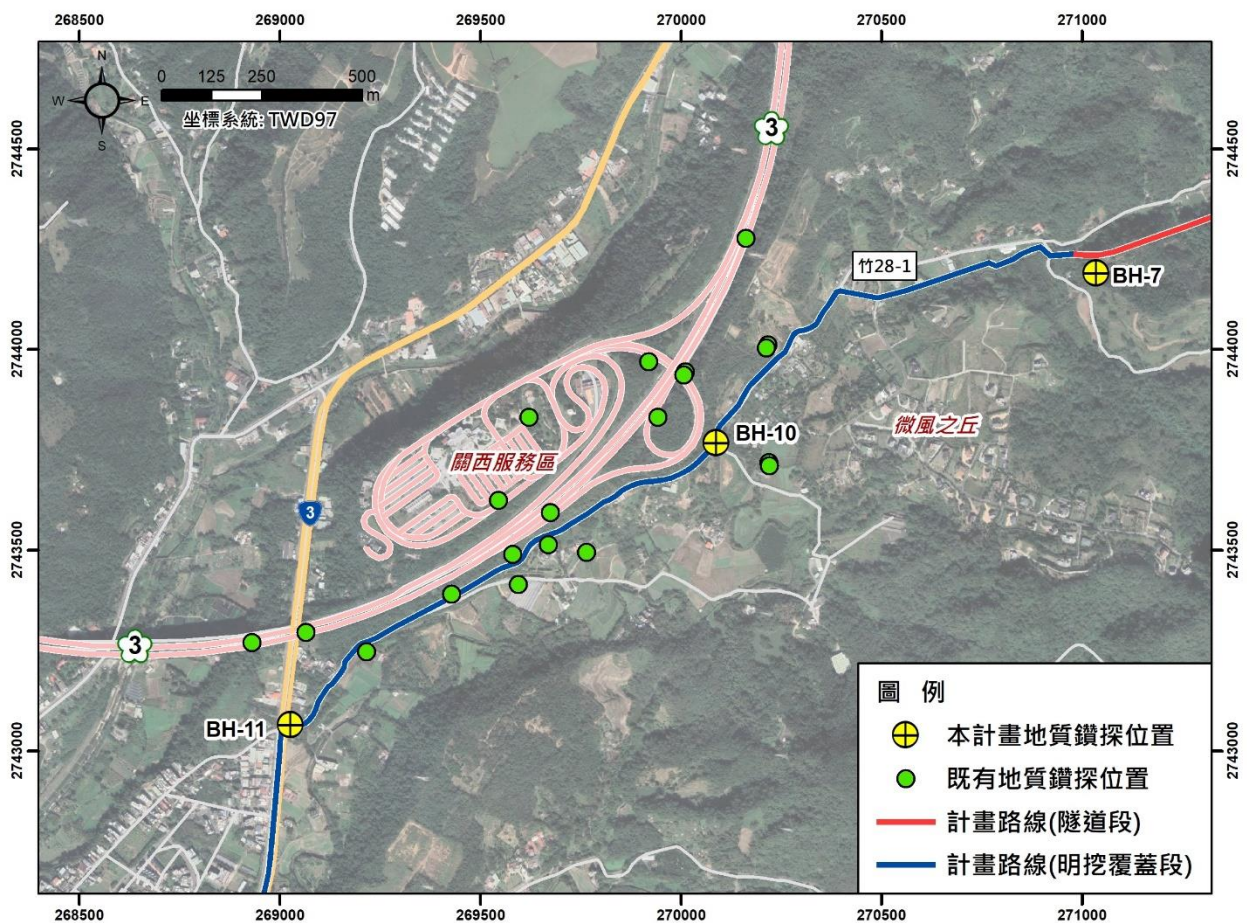


圖 5-1 竹 28-1 鄉道地質鑽探位置圖

5.1.2 台3線

本明挖覆蓋段由竹 28-1 鄉道與台 3 線交叉口起(約里程 5K+850)，沿台 3 線向南，經沙坑、橫山至竹東鎮東側止(約里程 22K+340)，全長約 16.5 公里，主要介於鳳山溪與頭前溪之間山麓區域及頭前溪，以下分為鳳山溪區、山麓區及頭前溪區，綜整鄰近既有鑽孔資料及本計畫地質調查成果分區說明：

1. 鳳山溪區：

路線主要位於關西鎮東側台 3 線，處於鳳山溪上游與支流交會處，為河流沖積並堆積之河道與氾濫平原區，鄰近山麓區域為岩盤出露，並配合地質鑽探成果推估，沿路線之 BH-11~BH-16 之間，地表下約 1~10 公尺主要為回填層或礫石層夾砂層，且由北往南之山麓區域，礫石層厚度變薄，且於 BH-14 孔地表下約 6 公尺開始出現岩盤，並往南至 BH-16 岩盤已淺至地表下約 1 公尺。

2. 山麓區：

路線主要位於大平地至橫山之間山麓區域，且大致分布於頭前溪支流新城溪兩岸，主要為河流沖積並堆積之河谷，鄰近山麓區域為岩盤出露，並配合地質鑽探成果推估，沿路線之 BH-16~BH-20 之間，地表下約 5~8 公尺主要為回填層或礫石層夾砂層；BH-20~BH-23 則位於山麓區域，礫石層厚度變薄，礫石層大致位於地表下約 1 公尺以內，局部位於 BH-21 附近具有厚層回填層；往南延伸至頭前溪，位於 BH-24 礫石層開始變厚，其礫石層厚度可達地表下約 7.6 公尺。其中位於 BH-21~BH-23 之間，岩盤具有剪切帶特徵，推估相當於地調所所稱之軟橋斷層。此外，於 BH-21 則有厚約 1.3 公尺之煤層，由於鄰近鑽孔並未發現此層，可能為局部性出露，惟後續施工仍須注意，並監測煤層可能造成有害氣體的危害。

3. 頭前溪區：

路線主要位於頭前溪兩支流油羅溪與上坪溪之間河谷或氾濫平原區域，主要為河流沖積並堆積之河道或氾濫平原，兩支流交會處為山麓區域具有岩盤出露，並配合地質鑽探成果推估，沿路線通過油羅溪之 BH-24~BH-29

之間，地表下約 6.7~12 公尺主要為回填層或礫石層，且 BH-24、BH-29 位於油羅溪兩側，於地表下約 6.7、0.7 公尺則遇岩盤，顯示礫石層向油羅溪兩側變薄；沿路線通過兩支流交會處後延伸至上坪溪溪，介於 BH-29~BH-34 之間，地表下約 16 公尺內，主要為礫石層，其以下則為岩盤，包含砂岩或礫岩。此外，由岩心顯示岩盤具有剪切帶及層面傾角改變，顯示位於 BH-26~BH-27 及 BH-29~BH-30 之間可能有斷層通過，惟地調所圖資顯示鄰近具有大平地斷層及軟橋斷層，惟依斷層可能通過路線位置與地層單位推測該斷層可能相當於軟橋斷層，該斷層非地調所公告之活動斷層，然鄰近區域具有新城斷層活動斷層地質敏感區，故建議後續設計時，需保守考量斷層活動之影響。

5.1.3 上坪溪左岸高灘地

本明挖覆蓋段由台 3 線竹東大橋左岸上游側起(約里程 22K+340)，沿上坪溪左岸高灘地向南至軟橋彩繪村，長度約 2.7 公里。綜整鄰近既有鑽孔資料及本計畫地質調查成果，聯通管位於上坪溪左岸河階，地層材料由卵礫石、砂及泥組成，粒徑多介 3~15 公分，最大亦可超過 40 公分，排列呈顆粒支持，基質為砂、粉土，另於 BH-36 鑽孔岩心，可見超過 2 公尺之沉泥，本河階礫石層厚度至少 6.8 公尺；礫石層下伏為地層主要為泥質砂岩，含碳屑，具強烈生物擾動現象，無明顯層理，參考區域地質資料，應屬卓蘭層。

5.2 工程地質綜合評估

本階段於明挖覆蓋段共完成 14 孔地質鑽探、並配合鑽孔進行標準貫入試驗共 60 組，各明挖覆蓋段之工程地質評估說明如後。

5.2.1 竹 28-1 鄉道

本明挖覆蓋段大致沿竹 28-1 鄉道，由畚箕窩向東延伸至台線，長度約 2.4 公里。綜整鄰近既有資料與本計畫調查成果，於工程開挖範圍(約 3 公尺)內所遇之地層以礫石層夾粉土質砂，礫石層排列呈顆粒支持基質為砂、

粉砂或泥，其 N 值皆大於 100。

5.2.2 台 3 線

1. 鳳山溪區：

路線主要位於關西鎮東側台 3 線，處於鳳山溪上游與支流交會處，為河流沖積並堆積之河道與氾濫平原區，沿路線之 BH-11~BH-16 之間，地表下約 1~10 公尺主要為回填層或礫石層夾砂層，且由北往南之山麓區域，礫石層厚度變薄，且於 BH-14 孔地表下約 6 公尺開始出現岩盤，並往南至 BH-16 岩盤已淺至地表下約 1 公尺，標準貫入試驗 N 值介 6~100 間，地下水位約在 3~4 公尺，依目前規劃，水位面大約在開挖面底部，須注意後續施工排水之相關問題。

2. 山麓區：

路線主要位於大平地至橫山之間山麓區域，且大致分布於頭前溪支流新城溪兩岸，主要為河流沖積並堆積之河谷，鄰近山麓區域為岩盤出露，並配合地質鑽探成果推估，沿路線之 BH-16~BH-20 之間，地表下約 5~8 公尺主要為回填層或礫石層夾砂層；BH-20~BH-23 則位於山麓區域，礫石層厚度變薄，礫石層大致位於地表下約 1 公尺以內，局部位於 BH-21 附近具有厚層回填層；往南延伸至頭前溪，位於 BH-24 礫石層開始變厚，其礫石層厚度可達地表下約 7.6 公尺。其中位於 BH-21~BH-23 之間，岩盤具有剪切帶特徵，推估相當於地調所所稱之軟橋斷層。此外，於 BH-21 則有厚約 1.3 公尺之煤層，由於鄰近鑽孔並未發現此層，可能為局部性出露，惟後續施工仍須注意，並監測煤層可能造成有害氣體的危害。覆蓋層標準貫入試驗 N 值介 6~100 間，地下水位約在 1~5 公尺，依目前規劃，水位面大約在開挖面以上，須注意後續施工排水之相關問題。

3. 頭前溪區：

路線主要位於頭前溪兩支流油羅溪與上坪溪之間河谷或氾濫平原區域，

主要為河流沖積並堆積之河道或氾濫平原，兩支流交會處為山麓區域具有岩盤出露，並配合地質鑽探成果推估，沿路線通過油羅溪之 BH-24~BH-29 之間，地表下約 6.7~12 公尺主要為回填層或礫石層，且 BH-24、BH-29 位於油羅溪兩側，於地表下約 6.7、0.7 公尺則遇岩盤，顯示礫石層向油羅溪兩側變薄；沿路線通過兩支流交會處後延伸至上坪溪溪，介於 BH-29~BH-34 之間，地表下約 16 公尺內，主要為礫石層，其以下則為岩盤，包含砂岩或礫岩。覆蓋層標準貫入試驗 N 值皆大於 100，地下水位約在 3 公尺內，依目前規劃，水位面大約在開挖面以上，須注意後續施工排水之相關問題。

此外，由岩心顯示岩盤具有剪切帶及層面傾角改變，顯示位於 BH-26~BH-27 及 BH-29~BH-30 之間可能有斷層通過，惟地調所圖資顯示鄰近具有大平地斷層及軟橋斷層，惟依斷層可能通過路線位置與地層單位推測該斷層可能相當於軟橋斷層，該斷層非地調所公告之活動斷層，然鄰近區域具有新城斷層活動斷層地質敏感區，故建議後續設計時，需保守考量斷層活動之影響。

5.2.3 上坪溪左岸高灘地

本明挖覆蓋段由台 3 線竹東大橋左岸上游側起(約里程 22K+340)，沿上坪溪左岸高灘地向南至軟橋彩繪村，長度約 2.7 公里。綜整鄰近既有資料與本計畫調查成果，於工程開挖範圍(約 3 公尺)內所遇之地層以礫石層夾粉土質砂，其 N 值皆大於 100。此外，於里程 23K+200~23K+800 範圍之間，計畫路線與兩處山崩與地滑地質敏感區重疊，經本階段調查，計畫路線所在河階與地質敏感區屬不同河階單元，故應無邊坡崩滑之危害，但可能受到路線上邊坡斜坡造成之岩體滑動所覆蓋或上坪溪河水上漲帶來沉積物沖刷至連通管所在河階面，故後續於設計時，須注意路線上邊坡岩體滑動與河道沉積物沖刷之影響，並建議於細部設計階段依地質法相關規定補充地質調查與進行地質安全評估。

第六章 推管段工程地質分析與綜合評估

6.1 地質條件

蒐集鄰近區域之地質調查成果及既有調查資料，並根據本階段地表地質調查、地質鑽探及現地與室內試驗成果，繪製本計畫路線段中三段推管段地質剖面(分別為里程 15K+394~16K+393、里程 17K+625~17K+780、里程 20K+179~20K+241)，說明如後。

6.1.1 里程 15K+394~16K+393

本推管段大致位於台 3 線靠近台鐵合興車站，長度約 1 公里。主要係因地形提高，依據水理需求須改由推管方式通過。本計畫於此布設 4 孔地質鑽探，依據鑽孔岩心，本區覆蓋層多小於 2 公尺，岩性以砂岩、泥質砂岩及砂頁互層為主，層理約 50~70 度；並於 BH-21~23 中皆可見剪裂及破碎夾泥之現象。依區域地質圖，本區應屬南莊層，並鄰近軟橋斷層，故可能受斷層影響而局部破碎、夾泥。

推管通過之岩層可分為 5 層，第 I 層以砂岩為主，中至強烈生物擾動，無明顯層理；第 II 層為受剪裂之砂岩夾頁岩，層理向下漸陡，約由 10° 至轉 40°，局部可見破碎夾泥；第 III 層為受剪裂之砂頁岩互層，具強烈剪切構造，層理約 70°；第 IV 層為受剪裂之泥質砂岩，局部可見公分級之小錯動；第 V 層為砂岩，具強烈生物擾動現象，無明顯層理。地質剖面如圖 6-1。

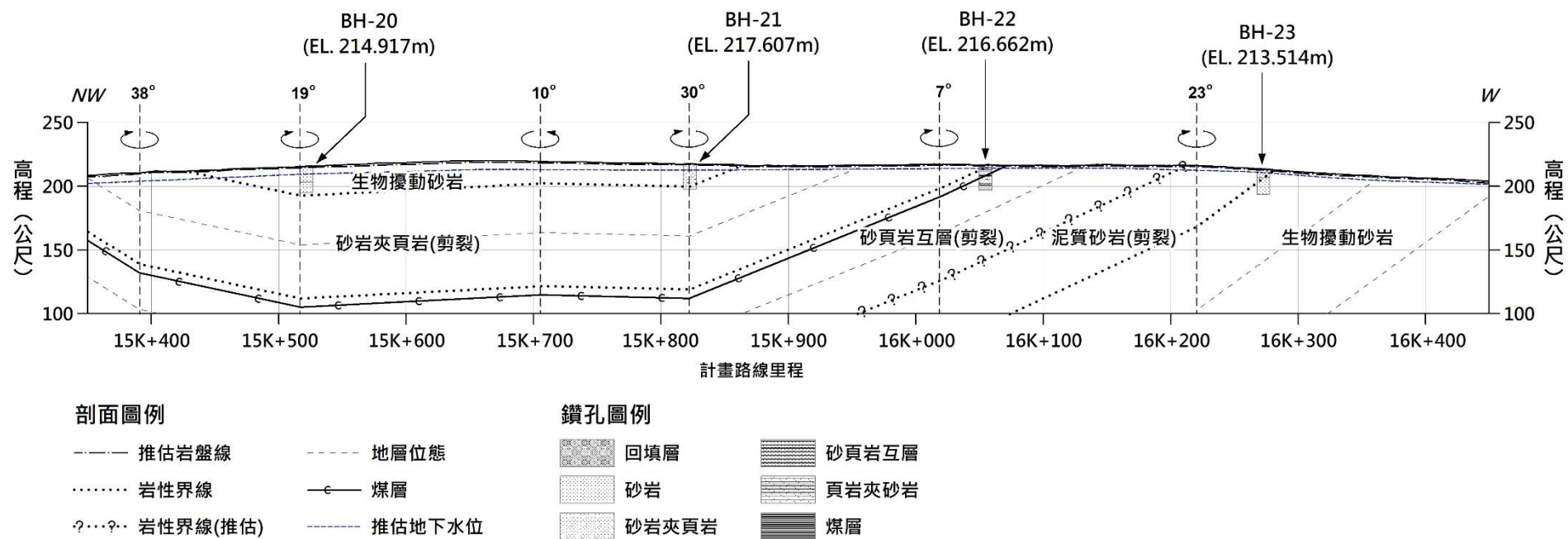


圖 6-1 推管段(里程 15K+394~16K+393)地質剖面圖

6.1.2 里程 17K+625 至 17K+780

本推管段大致位於台 3 線靠近大肚國小，長度約 160 公尺。主要係因聯通管橫交地下人行道，故須由明挖覆蓋改推管方式通過。本計畫於此區布設 1 孔地質鑽探，依據鑽孔岩心，地表下 0.0~7.6 公尺為礫石層，其下為砂岩，層理約 10~15°。依區域地質圖，本區應屬卓蘭層。地質剖面如圖 6-2。

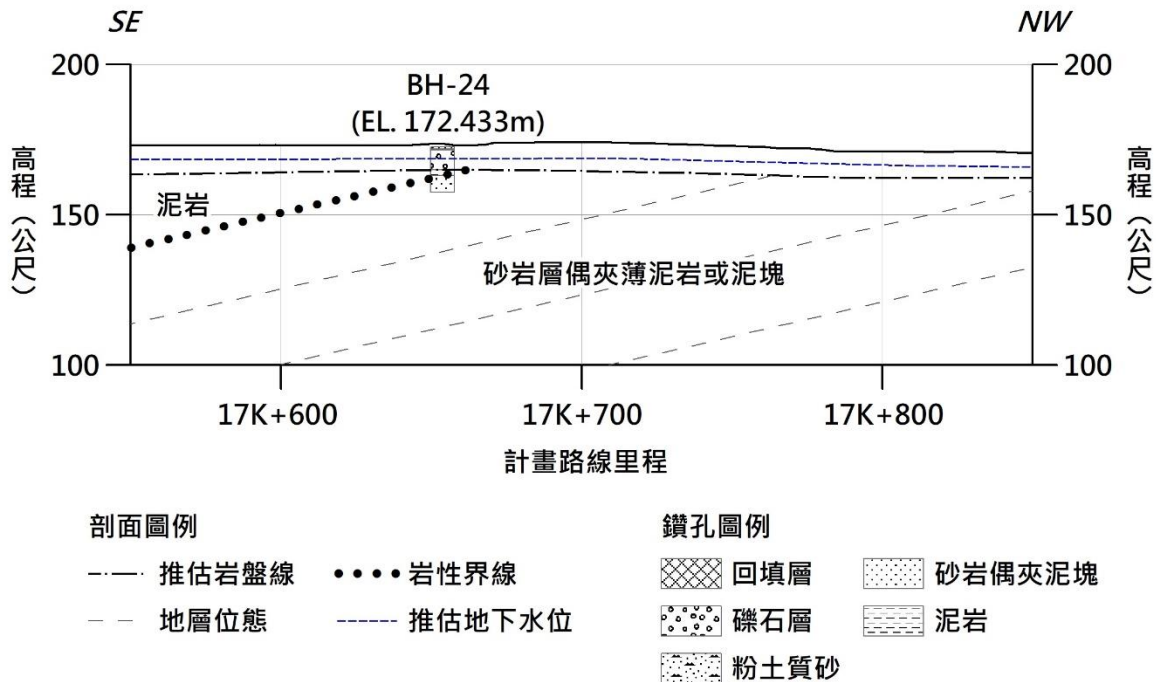


圖 6-2 推管段(里程 17K+625~17K+780)地質剖面圖

6.1.3 里程 20K+179 至 20K+241

本推管段大致位於台 3 線，油羅溪橋南側，長度約 60 公尺。主要係因聯通管橫交鐵路軌道，故須由明挖覆蓋改推管方式通過。綜整鄰近鑽孔(三崁店 1 號井)以及本計畫 BH-29 鑽孔成果，地表下 0.0~0.7 公尺以上為回填層及礫石層；其下為泥質砂岩層，層理約 10~15°，底部局部可見剪切現象。地質剖面如圖 6-3。

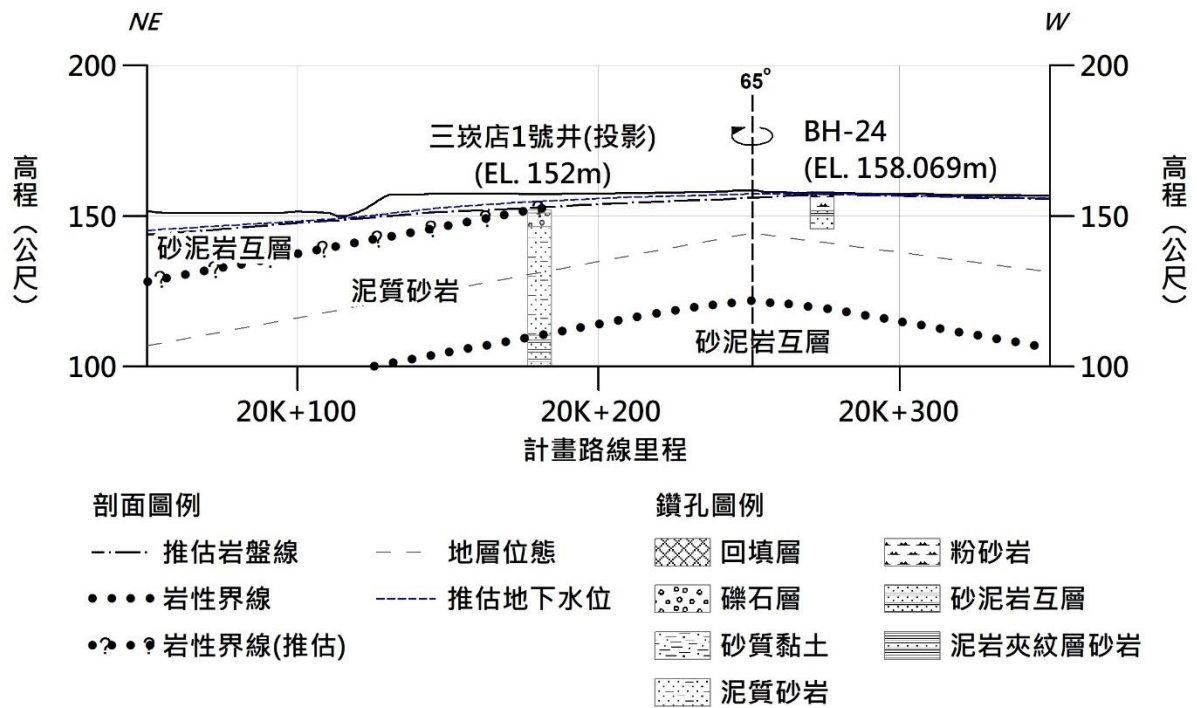


圖 6-2 推管段(里程 20K+179~20K+241)地質剖面圖

6.2 試驗成果統計

本階段於推管段共完成 6 孔地質鑽探、10 組岩石物理性質試驗、8 組岩石單壓強度試驗、8 組岩石弱面質剪試驗、4 組岩石三軸試驗、4 組岩石靜動彈性試驗。各推管段之地層岩石力學參數整理如表 6-1~6-3。

表 6-1 推管段(里程 15K+394~16K+393)地層岩石力學參數表

層次	岩性	一般物理性質		單壓 強度	三軸試驗				弱面直剪試驗	
		單位重	含水量		尖峰 凝聚力 C_p	尖峰 摩擦角 ϕ_p	殘餘 凝聚力 C_r	殘餘 摩擦角 ϕ_r	殘餘 凝聚力 C_r	殘餘 摩擦角 ϕ_r
		(g/cm ³)	(%)		(kg/cm ²)	(°)	(kg/cm ²)	(°)	(kg/cm ²)	(°)
I	上部生物擾動砂岩	2.48~2.39	3.02~7.49	5.78~104	4.36	54.8	1.84	22.1	0.23~2.66	20.8~33.8
II	砂岩夾頁岩(剪裂)	2.42~2.45*	6.39~7.25*	0.32~8.34*					0.51~0.52*	21.1~25.6*
III	砂頁岩互層(剪裂)	2.42~2.45	6.39~7.25	0.32~8.34	-	-	-	-	0.51~0.52	21.1~25.6
IV	泥質砂岩(剪裂)	2.29	8.1	0.44	-	-	-	-	-	-
V	下部生物擾動砂岩	2.31	8.66	8.94	2.06	39.2	0.69	25.2	0.3	24.0

註：第 II 層次「砂岩夾頁岩(剪裂)」未選取到適當岩石試體可做試驗，故參考第 III 層次之試驗參數

表 6-2 推管段(里程 17K+625 至 17K+780)地層岩石力學參數表

層次	岩性	一般物理性質		SPT-N	單壓強度	三軸試驗				弱面直剪試驗	
		單位重	含水量			尖峰凝聚力 C_p	尖峰摩擦角 ϕ_p	殘餘凝聚力 C_r	殘餘摩擦角 ϕ_r	殘餘凝聚力 C_r	殘餘摩擦角 ϕ_r
		(g/cm ³)	(%)			(kg/cm ²)	(°)	(kg/cm ²)	(°)	(kg/cm ²)	(°)
I	卵礫石層	-	-	>50	-	-	-	-	-	-	-
II	砂岩夾泥岩或泥塊	2.12~2.28	6.99~10.6	-	3.16~9.87 (10.71)	3.27	39.62	0.94	20.18	-	-

註：()內為平均值

表 6-3 推管段(里程 20K+179 至 20K+241)地層岩石力學參數表

層次	岩性	一般物理性質		單壓強度	三軸試驗				弱面直剪試驗	
		單位重	含水量		尖峰凝聚力 C_p	尖峰摩擦角 ϕ_p	殘餘凝聚力 C_r	殘餘摩擦角 ϕ_r	殘餘凝聚力 C_r	殘餘摩擦角 ϕ_r
		(g/cm ³)	(%)		(kg/cm ²)	(°)	(kg/cm ²)	(°)	(kg/cm ²)	(°)
I	泥質砂岩	2.31~2.35	2.73~2.75	21.4~39.7	2.99	50.91	1.23	20.61	0.477	24.2

6.3 工程地質綜合評估

6.3.1 里程 15K+394~16K+393

依本計畫調查成果，本推管段里程 15K+394~15K+450 間地層為具剪裂之砂岩夾頁岩層，岩體局部破碎夾泥，單壓強度約介 0.32~8.34 kg/cm²；里程 15K+450~15K+850 為上部生物擾動砂岩，單壓強度約介 5.78~104 kg/cm²；里程 15K+850~16K+150 為具剪裂之砂頁岩互層，其中於 16K+030 可能遭遇煤層，須注意煤層強度低、及具有害性氣體，本層單壓強度約介 5.78~104 kg/cm²；里程 16K+150~16K+260 為具剪裂之泥質砂岩，單壓強度為 0.44 kg/cm²；里程 16K+260~15K+850 為上部生物擾動砂岩，單壓強度為 8.94 kg/cm²。地下水位約在地表下 1.5~5.0 公尺之間，依目前規劃，地下水位面皆高於推管施工面。

6.3.2 里程 17K+625 至 17K+780

依本計畫調查成果，本推管段地表下 7.6 公尺以上為卵礫石層，SPT-N 值皆大於 50；其下為砂岩偶夾薄層頁岩或泥塊，單壓強度介 3.16~9.87 kg/cm²，平均約 10.71 kg/cm²。本區地下水位約在地表下 3 公尺，依目前規劃，地下水位面皆高於推管施工面。另由於推管工法需視地層材料粒徑選擇適當之切削工具，而本段兩層材料粒徑差異極大，建議後續階段於本推管段到達井處補充地質鑽探，以確認礫石層分布深度。

6.3.3 里程 20K+179 至 20K+241

依本計畫調查成果，本推管段地層為泥質砂岩，單壓強度介 21.4~30.7 kg/cm²，須注意由於 BH-29 於孔底約 1 公尺局部可見剪切現象，地層強度可能會受此剪切影響而較為破碎，而本階段地質剖面係由區域地層位態繪製，建議於後續階段補充地質鑽探，確認剪切或破碎帶延伸狀況。另本區地下水位約在地表下 1 公尺內，依目前規劃，地下水位面皆高於推管施工面。

第七章 水管橋段工程地質分析與綜合評估

7.1 地質條件

蒐集鄰近區域之地質調查成果及既有調查資料，並根據本階段地表地質調查、地質鑽探及現地與室內試驗成果，繪製本計畫路線段中兩座需設置橋墩之水管橋段(分別為油羅溪水管橋及竹東水管橋)，說明如後。

7.1.1 油羅溪水管橋

本水管橋設置於台 3 線油羅溪橋下游側，長度約 450 公尺。本計畫於此部設 4 孔地質鑽探，每孔深度 30 公尺，綜整鄰近既有鑽孔與本計畫地質調查成果，推估本區礫石層分布於地表下 0.0~15.0 公尺間，厚度約 10~15 公尺，礫石為圓至次圓狀，粒徑多介 3~10 公分，最大亦可超過 35 公分，基質為細砂，排列呈顆粒支持；油羅溪右岸下伏岩層為泥質砂岩，左岸則為砂泥岩互層，膠結疏鬆；參考區域地質圖之地層位態及檢視本區鑽孔岩心，可見地層位態自北(右岸)向南(左岸)漸緩，由 $50\sim 60^\circ$ 轉為 $20\sim 30^\circ$ ，並於 BH-25 及 BH-26 之鑽孔岩心，可見局部具小錯動，依此推估此二鑽孔北側可能有斷層通過。地質剖面如圖 7-1。

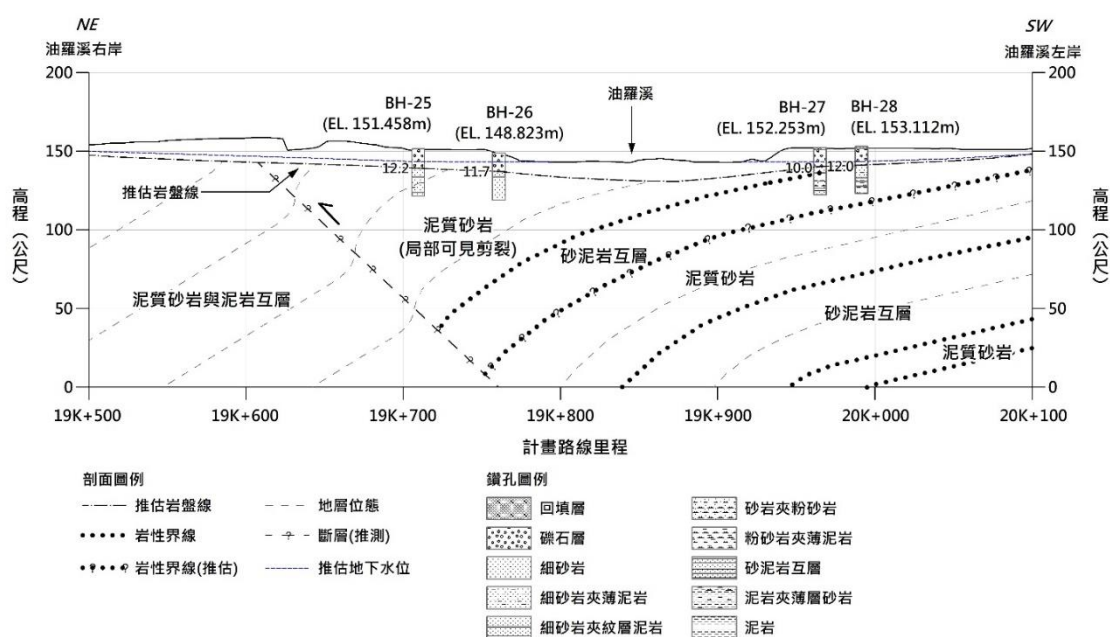


圖 7-1 油羅溪水管橋地質剖面圖

7.1.2 竹東水管橋

本水管橋設置於台 3 線竹東大橋上游側，長度約 500 公尺。本計畫於此部設 4 孔地質鑽探，每孔深度 30 公尺，依據本計畫地質調查成果，推估本區礫石層分布於地表下 0.0~20.0 公尺間，厚度約 16~20 公尺，礫石為圓至次圓狀，粒徑多介 2~10 公分，最大亦可超過 40 公分，基質為細砂；下伏岩層為礫岩、砂岩及泥岩之互層，膠結疏鬆，泡水易崩解、軟化。參考區域地質位態及鑽孔所量得之層理繪製本區地質剖面(如圖 7-2)，上坪溪右岸礫石層下伏岩層為砂岩及泥岩互層，膠結疏鬆，局部可見剪切或蜘蛛網狀破裂，層理約 30~40°；上坪溪右岸礫石層下伏岩層為棕黃色礫岩夾泥質砂岩，礫岩排列呈基質支持，泥質砂岩膠結疏鬆，遇水易軟化，厚度多小於 1 公尺，層理約 30°。

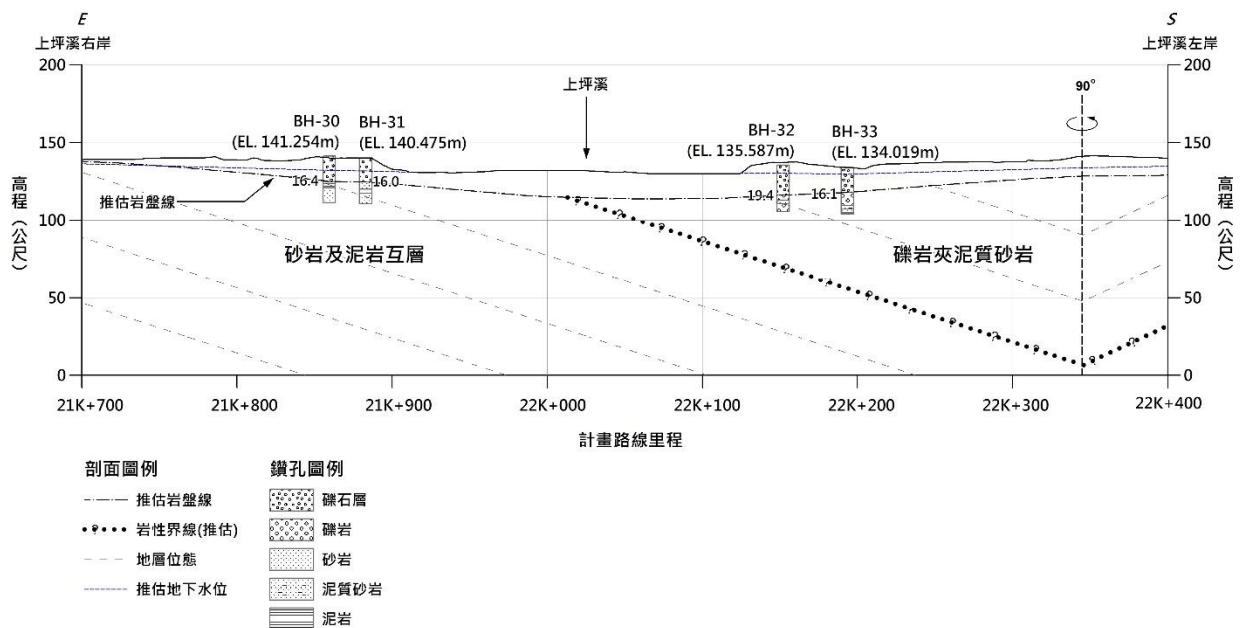


圖 7-2 竹東水管橋地質剖面圖

7.2 試驗成果統計

本階段於水管橋段共完成 8 孔地質鑽探、82 組標準貫入試驗、12 組岩石物理性質試驗、10 組岩石單壓強度試驗及 10 組岩石弱面直剪試驗。兩座水管橋之地層岩石力學參數整理如表 7-1、7-2。

表 7-1 油羅溪水管橋簡化土層參數表

層次	岩性	分布深度	SPT-N	單位重	單壓強度	凝聚力	摩擦角
		(m)	(次)	(t/m ³)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(°)
I	卵礫石層	0~15.0	>100	-	0	0*	35*
II	泥質砂岩 (局部可見剪裂)	16.0~30.0 分布於右岸	-		3.1~63 (27.3)	0.4~0.5	27.1~28.8
III	砂泥岩互層	16.1~30.0 分布於左岸	-		3.2~39.7 (17.2)	0.2~3.3 (1.6)	11.4~24.2 (18)

註：*依經驗公式推估；()內為平均值

表 7-2 竹東水管橋簡化土層參數表

層次	岩性	分布深度	SPT-N	單位重	單壓強度	凝聚力	摩擦角
		(m)	(次)	(t/m ³)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(°)
I	卵礫石層	0~20.0	>100	-	0	0*	35*
II	礫岩	10.0~30.0 分布於左岸	>100	-	-	0*	35*
	泥質砂岩 (間夾於礫岩中，厚度多小於 1m)	10.0~30.0 分布於左岸	~25	-	-	-	-
III	泥質砂岩與 泥岩互層	11.7~30.0 分布於右岸	-		0.3~9.8 (4.0)	0.4~1.4 (0.9)	13.2~25.9 (17.8)

註：*依經驗公式推估；()內為平均值

7.3 工程地質綜合評估

7.3.1 油羅溪水管橋

依據本計畫調查成果，本水管橋礫石層分布於地表下 0.0~15.0 公尺間，厚度約 10~15 公尺，礫石為圓至次圓狀，粒徑多介 3~10 公分，最大亦可超過 35 公分，排列呈顆粒支持，SPT-值皆大於 100；河道右岸下伏岩層為泥質砂岩，膠結疏鬆，局部可見剪裂、錯動之現象，單壓強度介 3.1~63 kg/cm²，平均約 27.3 kg/cm²，殘餘凝聚力介 0.4~0.5 kg/cm²，殘餘摩擦角介 27.1~28.8°；左岸則為砂泥岩互層，膠結亦屬疏鬆，單壓強度介 3.2~39.7 kg/cm²，平均約 17.2 kg/cm²，殘餘凝聚力介 0.2~3.3 kg/cm²，平均約 1.6 kg/cm²，殘餘摩擦角介 27.1~28.8°，平均約 18°。本區地下水位約在地表下 8~10 公尺間，須注意後續水下施工及排水相關問題建議後續於橋墩設立位置補充地質鑽探，以確認礫石層分布深度及其厚度。

7.3.2 竹東水管橋

依據本計畫調查成果，本水管橋礫石層分布於地表下 0.0~15.0 公尺間，厚度約 10~15 公尺，礫石為圓至次圓狀，粒徑多 2~10 公分，最大亦可超過 40 公分，排列呈顆粒支持，SPT-值皆大於 100。河道右岸下伏岩層為砂岩及泥岩互層，膠結疏鬆，局部可見剪切或蜘蛛網狀破裂，單壓強度介 0.3~9.8 kg/cm²，平均約 4.0 kg/cm²，殘餘凝聚力介 0.4~1.4 kg/cm²，平均約 0.9 kg/cm²，殘餘摩擦角介 13.2~25.9°，平均約 17.8°；左岸則為礫岩、砂岩及泥岩之互層，礫岩排列屬基質支持，砂岩與泥岩膠結極為疏鬆，泡水易崩解、軟化，無適當樣品可供進行室內岩石力學試驗，故參考標準貫入試驗成果，礫岩層之 N 值皆大於 100，而砂岩或泥岩層，N 值最小約 25，局部因層間偶含礫石，故 N 值可達 90~100。本區地下水位約在地表下 5~13 公尺間，須注意後續水下施工及排水相關問題。建議後續於橋墩設立位置補充地質鑽探，以確認礫石層分布深度、厚度，以及右岸之砂泥岩互層(第 III 層)與左岸礫岩夾泥質砂岩層(第 II 層)之邊界。

附錄一 鑽孔柱狀圖

附錄二 彩色岩心照片

附錄三 岩石透水試驗成果

附錄四 土壤試驗成果

附錄五 岩石試驗成果