

台灣隧道工程卓越成就 與未來發展

曾大仁 博士

內容大綱

1. 隧道工程的緣起
2. 台灣隧道工程發展概況
3. 困難與挑戰
4. 結語

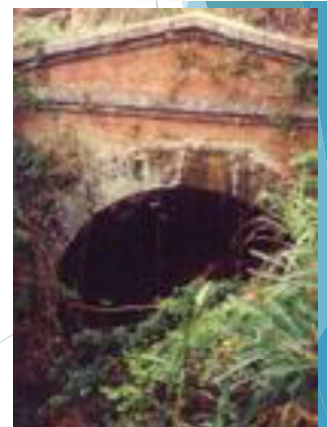
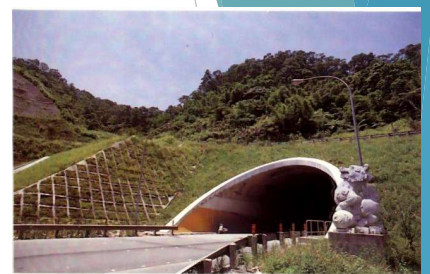
隧道的定義

- ▶ 教育部國語辭典：
貫穿因山脈或海峽等地形因素阻隔的通道
- Encyclopædia Britannica:
 - Horizontal or nearly horizontal underground or underwater passageway.
- Merriam-Webster Dictionary:
 - a horizontal passageway through or under an obstruction
 - a subterranean gallery (as in a mine)

2

▶ 你是否知道，我們每天的生活都與隧道有關？

- ▶ 自來水
- ▶ 衛生下水道
- ▶ 灌溉系統
- ▶ 捷運、鐵路
- ▶ 公路
- ▶ 電力系統
- ▶ 防洪
- ▶



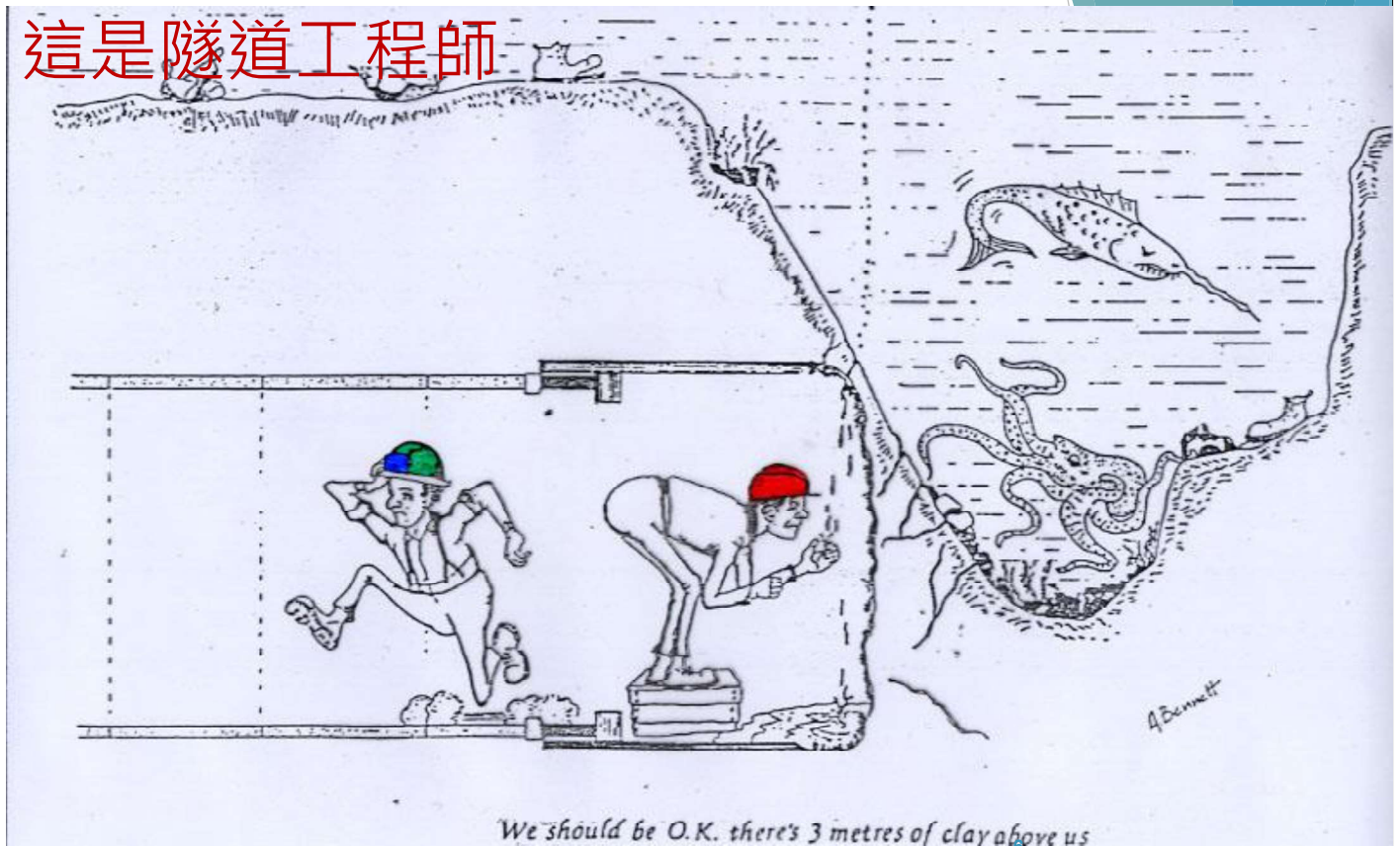
這是隧道工程



這也是隧道工程



這是隧道工程師



也是隧道工程師？

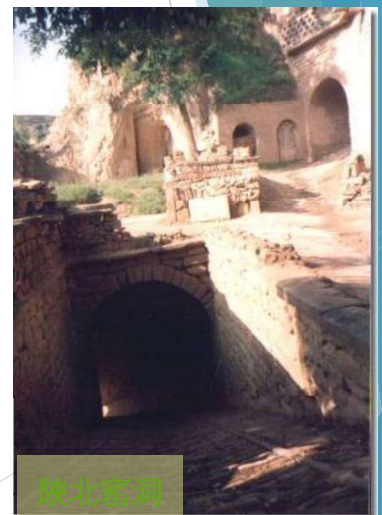


還是隧道工程師？



隧道工程從那來？

- 自然界的隧道工程師：土撥鼠、穿山甲
• • •
- 先民穴居需求
- 採礦需求：金屬礦物、煤
- 農業需求：灌溉渠道



陝北窯洞

西方古代的隧道工程

- ▶ 巴比倫人；河底隧道(2100BC以前)
- ▶ 古希臘人；隧道施工達 1公里(500BC以前，導水隧道1.8mX1.8m)
- ▶ 古羅馬人；發明 淬火法(Fire Quenching)，使用簡單手工工具即可開挖硬岩隧道。代表作品為Pausilippo道路隧道(36BC)，長1500m,寬7.5m,高9m

10

中國古代的隧道工程

- ▶ 中國最早文字見於左傳【鄭伯克段於鄆】“闕地及泉，隧而相見...大隧之中，其樂也融融”。
- ▶ 另於西漢武帝有灌溉用地下渠道之工程紀錄。

11

美麗的島嶼

崎嶇的地形

南北約385公里
東西約143公里
100公尺以下佔31.3%
100公尺至1000公尺佔37.2%
1000公尺以上之山地佔31.5%



隧道工程應用

其他用途

(地下油氣、軍事、核
廢料儲存...)

交通運輸

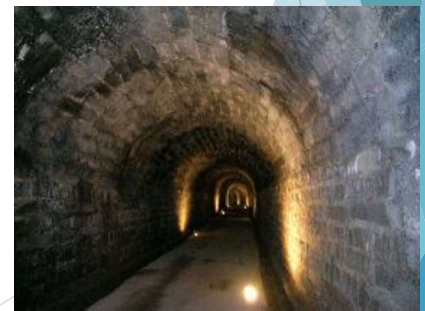
(公路、鐵路、捷
運、海底..)

水利建設

(分洪、引水、防淤、
水力發電...)

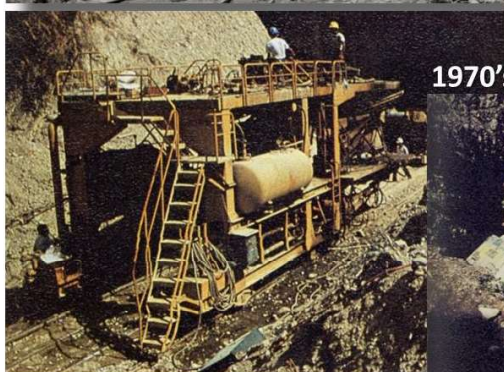
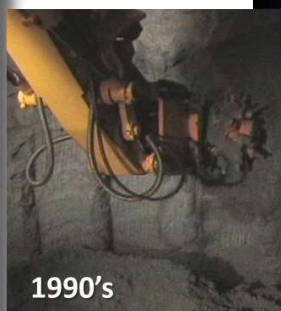
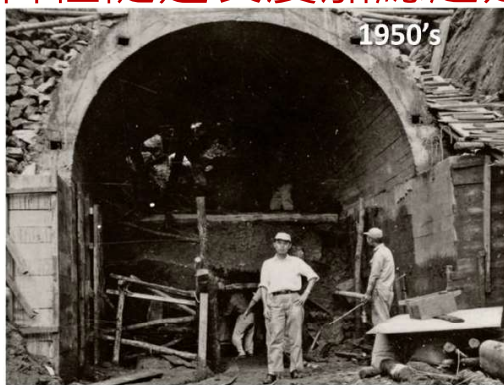
台灣隧道工程發展概況

- ▶ 最早的隧道：縱貫線獅球嶺隧道(全長235公尺)，位於基隆市，建於1888-1890年劉銘傳治台時代，距今已超過百年。



台灣隧道工程發展概況

各種隧道長度加總超過800公里(2007年統計)。



• **萌芽期(1950年代中期以前)**

- 水力發電及農業灌溉工程為主，如桃園大圳輸水隧道、烏山嶺隧道
- 小斷面，工程技術原始

• **成長期(1950' s中期~1970' s末期)**

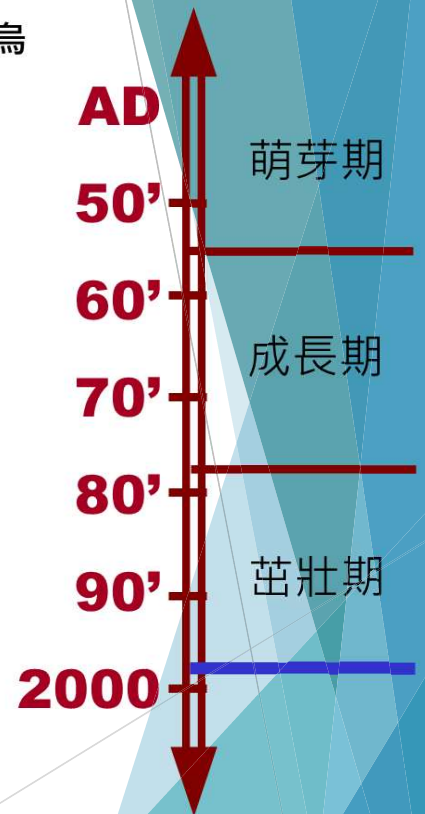
- 大型水電及交通建設為主，如北迴鐵路隧道群
- 中大斷面，傳統工法應用現代化機具

• **茁壯期(1970' s末期~1990' s末期)**

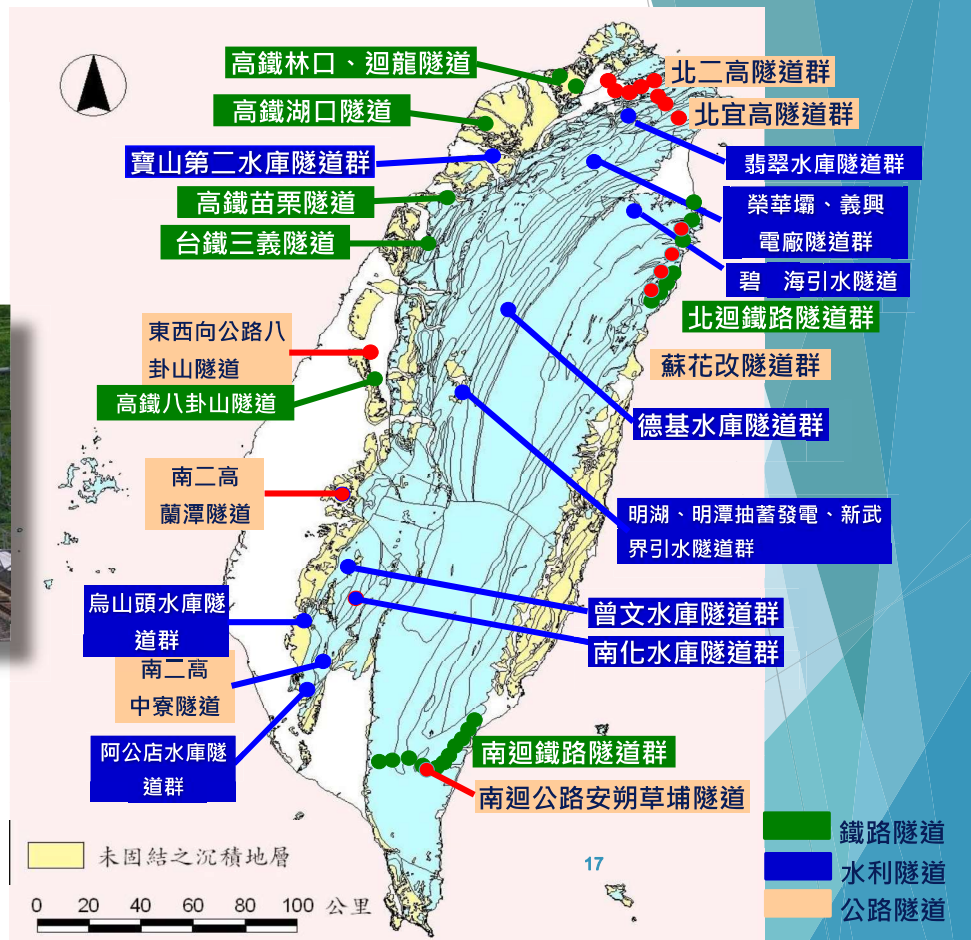
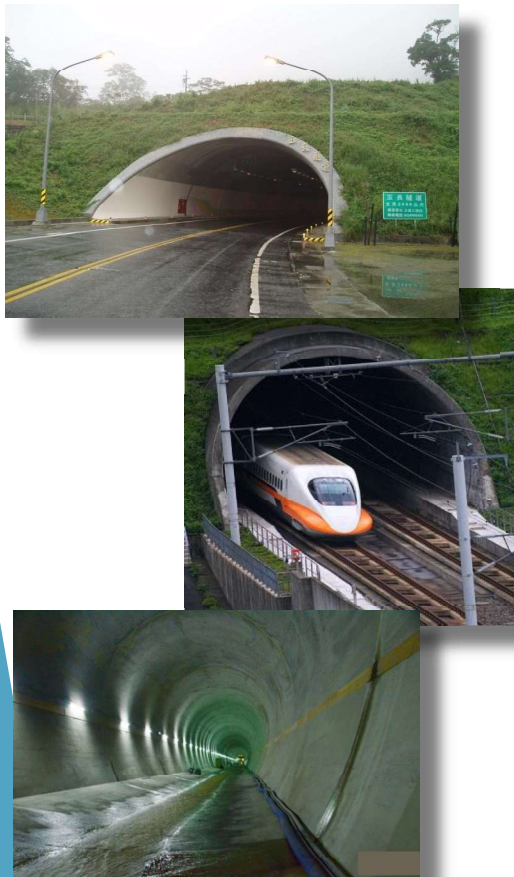
- 現代化基礎建設，如抽蓄發電、捷運隧道群
- 長大隧道，現代化施工機具

• **維護與蛻變期(1990' s末期~迄今)**

- 老舊隧道檢修維護，如南迴線鐵路電氣化
- 營運維護與防災相關技術研發
- 困難地質施工技術引進及研發



隧道工程應用-台灣近代重要山岳隧道工程



公路隧道-雪山隧道(1/3)

N
臺灣
海峽

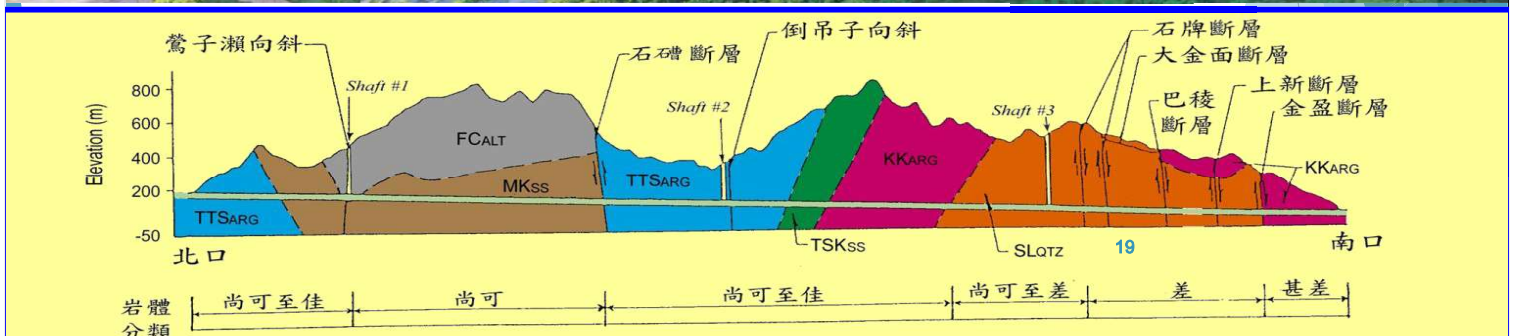
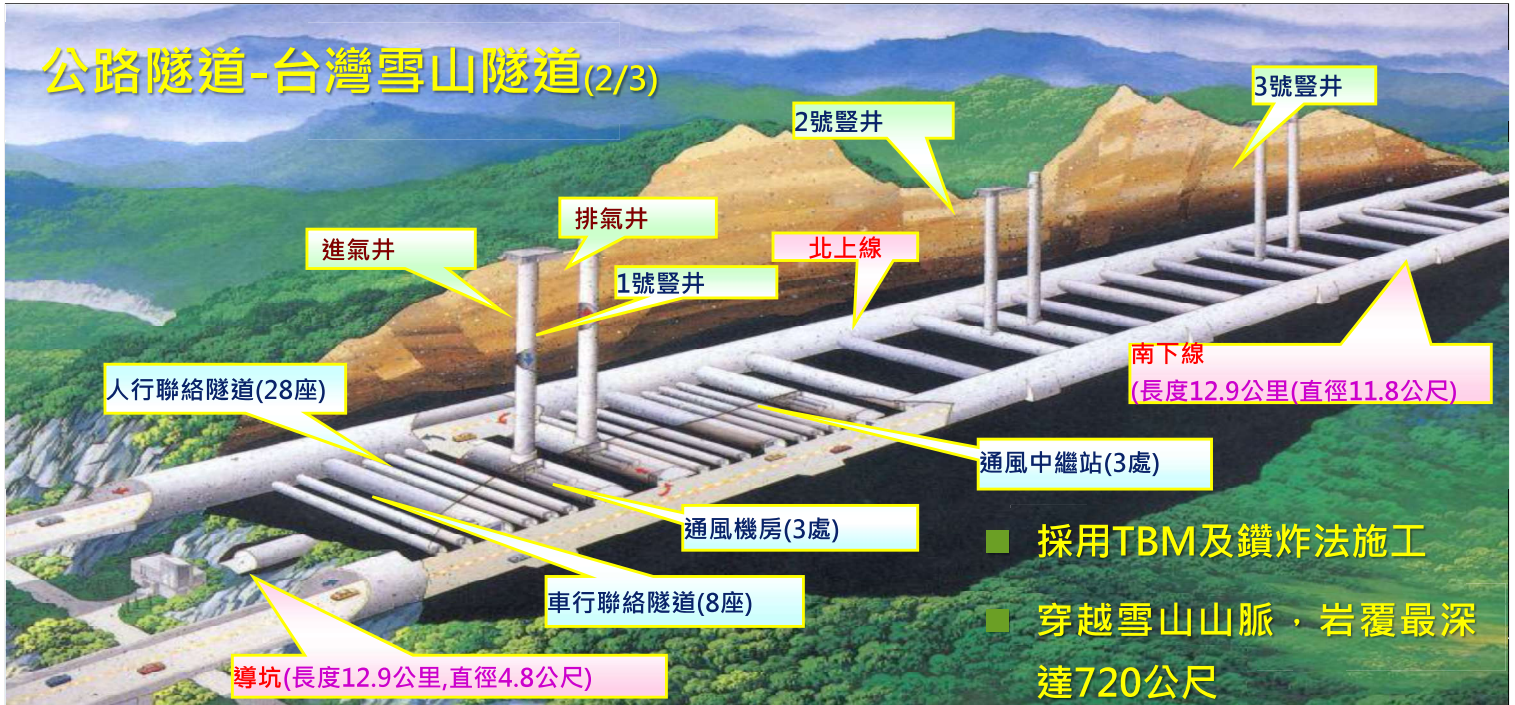


- 台灣最長(公路)隧道：12.9 公里
- 世界第11長公路隧道(2019/3)

國道5號



公路隧道-台灣雪山隧道(2/3)



公路隧道-台灣雪山隧道(3/3)



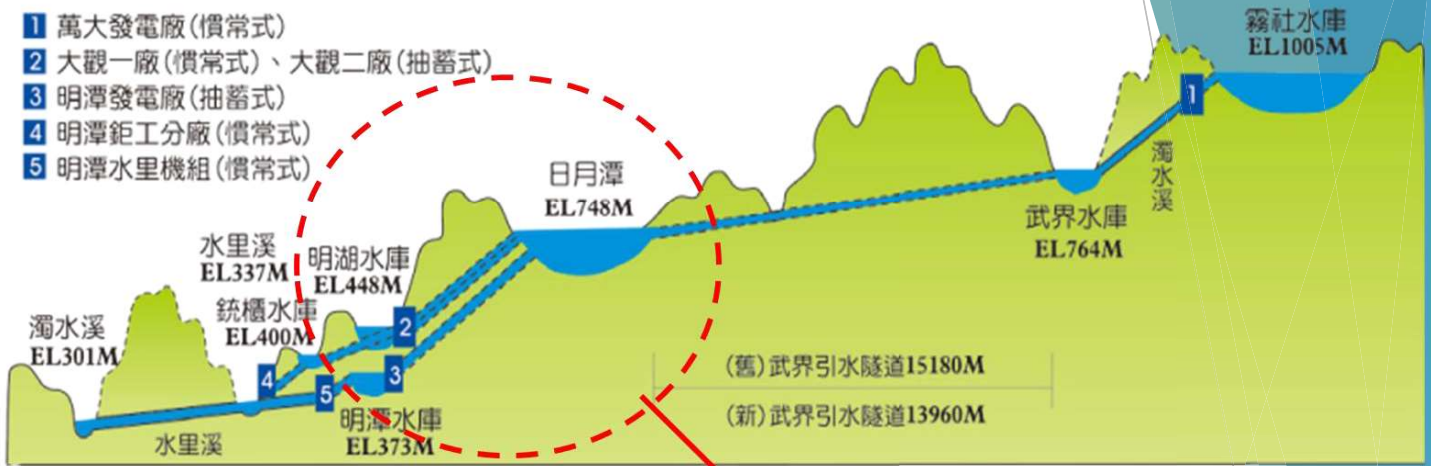
- 於1991年動工，2004年貫通，**2006年6月通車**營運，營運速度90 km/hr
- **雙孔雙線隧道**，路線長12.9公里，每350公尺設一人行聯絡道接中央導坑，供民眾緊急逃生
- **每1.4公里設一座車行聯絡道**，緊急狀況下車輛可以在聯絡道內**切換隧道**
- 縮短台北和蘭陽平原間之距離，加速蘭陽地區發展，並帶動東部開發

水力發電工程隧道群-明潭抽蓄電廠(1/2)



水力發電工程隧道群-明潭抽蓄電廠(2/2)

- 1 萬大發電廠(慣常式)
- 2 大觀一廠(慣常式)、大觀二廠(抽蓄式)
- 3 明潭發電廠(抽蓄式)
- 4 明潭鉅工分廠(慣常式)
- 5 明潭水里機組(慣常式)



- 抽蓄機組於1993年完成後成為當時世界上最大的抽蓄水力電廠之一，目前抽蓄機組部分仍是東南亞最大、全球第十大的抽蓄水力發電廠
- 電廠設有兩條引水隧道，每條包括頭水隧道、平壓塔、壓力鋼管。頭水隧道之一長2924公尺，另一長為3057公尺



河川分洪-員山子分洪隧道(1/3)



河川分洪-員山子分洪隧道(2/3)

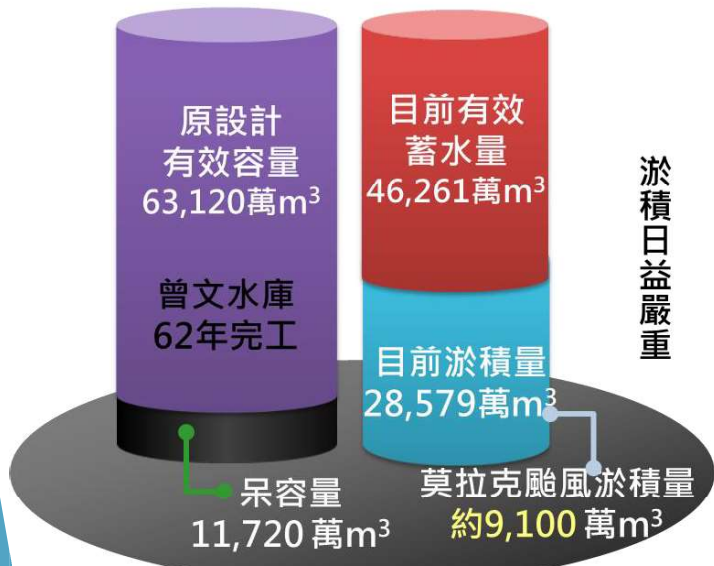


河川分洪-員山子分洪隧道(3/3)



- ▶ 於2002年動工，2005年啟用，工程執行經費計約新台幣60億元
- ▶ 隧道內徑12公尺，長度2,483.5公尺（包含引水隧道及出水口放流設施），過河段覆蓋僅4m，以隧道通過，減輕環境衝擊
- ▶ 自動分洪水位為63公尺，除了分流堰，在上游設了三座梳狀攔河壩，以阻攔巨石與漂流木，避免流入分洪道造成損害
- ▶ 基隆河上游200年頻率之洪水1620 cms可分洪1310 cms (81%)至東海，降低瑞芳地區河段水位3.13m，平均亦可降低基隆河下游水位1.5m
- ▶ 完工後基隆河中、下游水患問題顯著改善，大幅降低水患之經濟損失與社會成本，促進地方繁榮，保障生命財產安全

水庫防淤隧道-曾文防淤隧道(1/4)



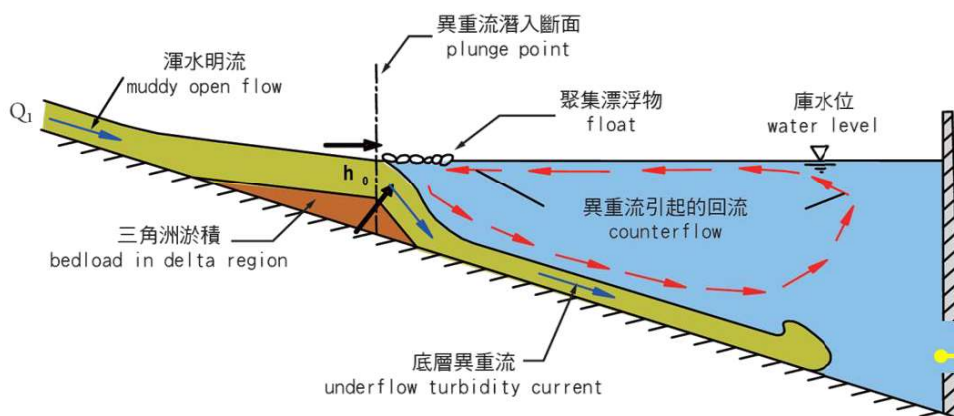
曾文水庫庫容示意圖 (滿水位El.227 m)

- 民國98年莫拉克颱風後曾文水庫淤積量增加9,100萬 m^3 ，約等於20年淤積量
- 為利永續經營，並延長水庫壽命，推動「曾文水庫防淤隧道工程」

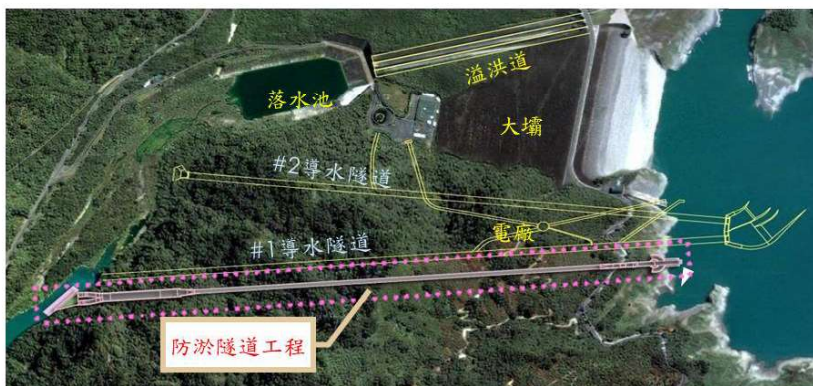


2009.08.08莫拉克 颱風後水庫淤積

水庫防淤隧道-曾文防淤隧道(2/4)



石門水庫電廠防淤排砂



颱風來臨水庫發生異重流時，適時排放濁水，達到「蓄清排濁」目的，減緩水庫淤積，延長水庫壽命

水庫防淤隧道-曾文防淤隧道(3/4)

2. 豎井及隧道閘室段



● 豎井閘室：
豎井閘室深
→ 50m
豎井閘室長
→ 31m

3. 隧道區段

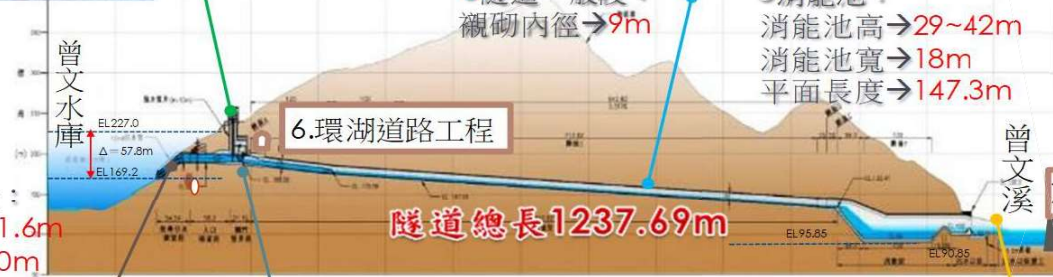


● 隧道一般段：
襯砌內徑 → 9m



● 消能池：
消能池高 → 29~42m
消能池寬 → 18m
平面長度 → 147.3m

● 象鼻鋼管段：
鋼管外徑 → 11.6m
鋼管內徑 → 10m
平面長度 → 56.62m



1. 進水口區段(象鼻引水鋼管)



● 水工機械：
直立式閘門尺寸
→ 6.8m x 7.7m
弧形閘門尺寸
→ 6.8m x 6.8m

5. 水工機械、機電及耐磨工程

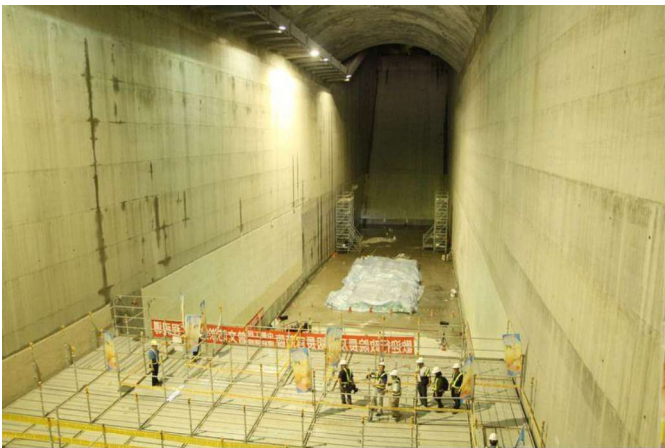


4. 出水口區段



● 出水口區段(雙洞出口)：
洞口高 → 26.5m
洞口寬 → 10m * 2洞

水庫防淤隧道-曾文防淤隧道(4/4)



- ▶ 於2014年動工，2017年11月啟用，工程執行經費計約新台幣41億元
- ▶ 主要結構包括象鼻鋼管段、進水口隧道段、閘門豎井段、導流隧道段、消能池洞室及出水口段。全長約1235公尺
- ▶ 當今全臺最大的水利地下工程，也是全球首座使用象鼻鋼管工法的排砂隧道
- ▶ 利用颱風時期水力排砂，為現階段水庫清淤最經濟的方式，同時對於環境亦最為友善。每年預估可有效排除104萬立方米的淤砂，可大大減少人工抽砂與挖砂的人力經費，增加水庫排洪能力，延長水庫壽命

隧道工程

趨勢

與

挑戰

30

隧道工程未來趨勢與挑戰

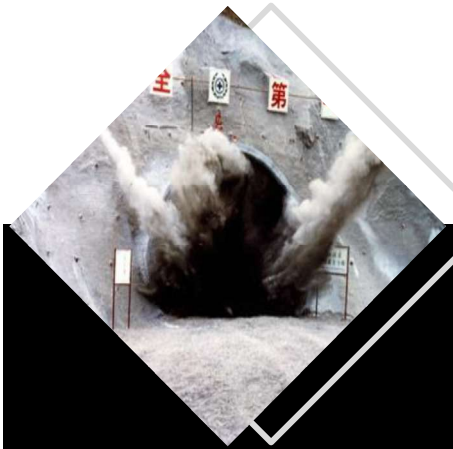
長度與難度增加

長隧道安全管理及事故應變

全生命週期隧道維護管理

長度與難度增加(1/3)

雪山隧道 - 臺灣最長隧道



1991年(導坑開工)

世界公路隧道No.3



2006年(全線啟用)

世界公路隧道No.5



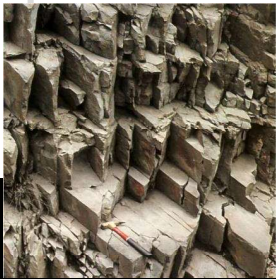
2019年(現今)

世界公路隧道
No.11

15年
下降2名

13年
下降6名

長度與難度增加(2/3)



長隧道

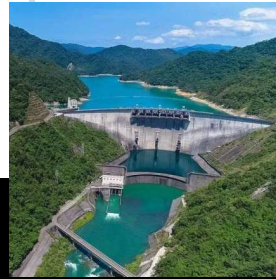
易遭遇困難地質

地質變異性大



長隧道

出碴、通風、排水
等後勤支援難度增



長隧道

對區域水文環境

影響漸關注



長隧道

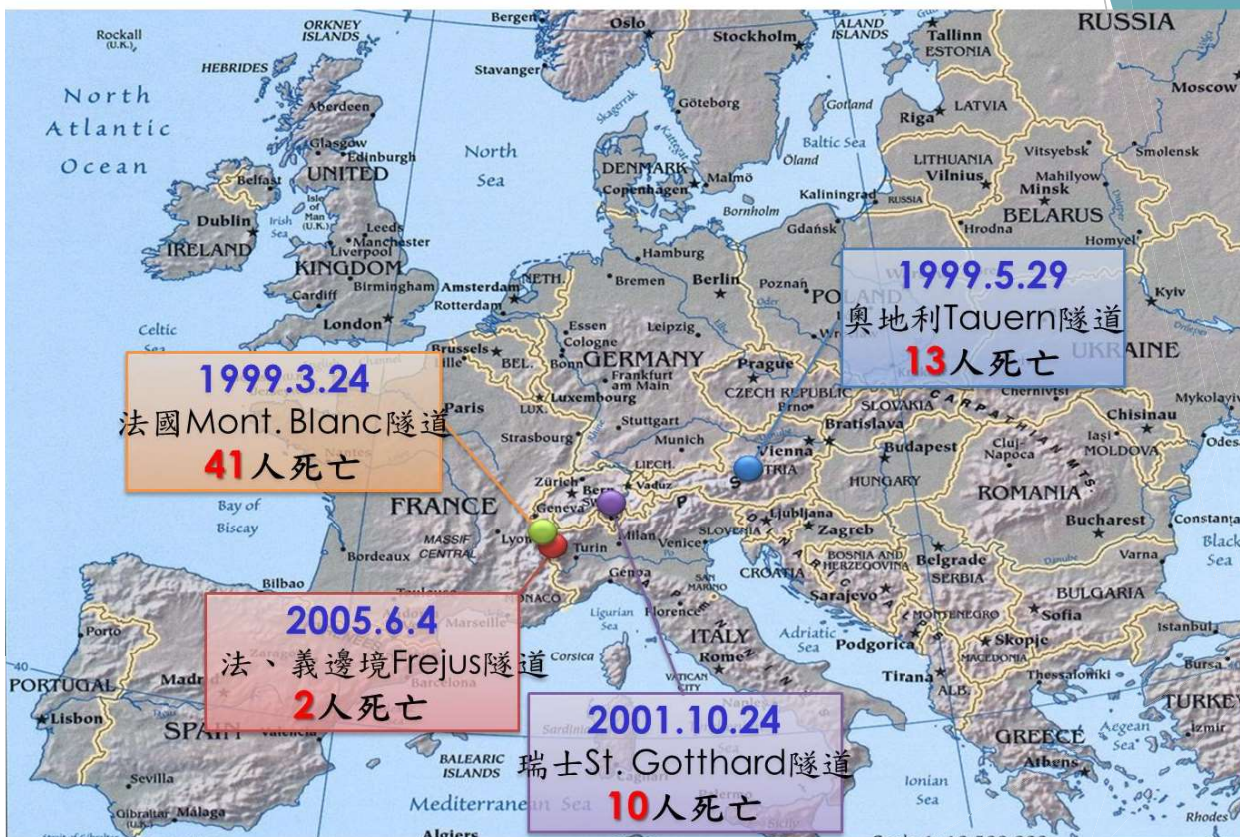
營運管理挑戰大
緊急救援難度高

長度與難度增加(3/3)

- 未來山岳隧道不僅長度越來越長，深度也越來越深，施工遭遇的挑戰越來越艱鉅，包括：高岩覆應力、溫泉地熱、高壓湧水...



長隧道安全管理及事故應變(1/4)



長隧道救援不易-近年國際重大公路長隧道事故

長隧道安全管理及事故應變(2/4)

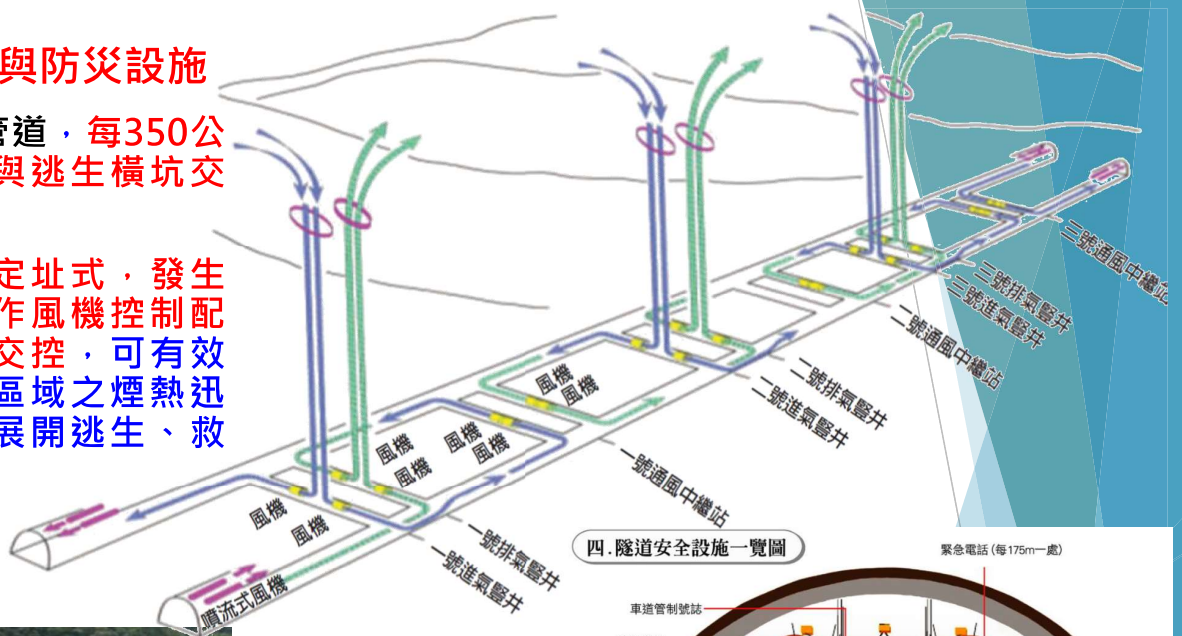
歐洲長度超過8公里長隧道之安全系統

隧道名稱	國家	長度 (m)	通車年	平均日旅次	統計年	逃生隧道	避難區 (供氣)	停車彎	消防栓凹槽	照明用電	通風系統	火警偵測系統	管制中心 (PCC)	危險物品管制	緊急應變小組
St. Gotthard	瑞士	16,322	1980	21,000	1998	有	無	有	單邊	單迴路	橫流式	有	兩座	管制數量	洞口消防隊 24小時待命 (各含4隊員)
Arlberg	奧地利	13,972	1978	5,200	1992	無	無	有	單邊	單迴路	橫流式	有	一座	離峰時間運送或隨車護送	-
Frejus	法國/ 義大利	12,901	1980	3,600	1997	無 (但進氣管溝可作為救難隧道)	有	有	單邊	雙迴路	橫流式	無	一座	須隨車護送	洞口消防隊 (各含消防車1輛)+作業人員消防編組。
Mont Blanc	法國/ 義大利	11,600	1965	5,300	1997	無	有	有	單邊	雙迴路	半橫流式	有	兩座(獨立作業)	管制數量	法國端設消防隊(含消防車)負責隧道全線消防工作。
Plabutsch	奧地利	9,755	1987	12,900	1992	無	無	有	單邊	單迴路	橫流式	有	一座	無	-
Gleinalm	奧地利	8,320	1978	7,800	1992	無	無	無	單邊	單迴路	橫流式	36有	一座	無	-

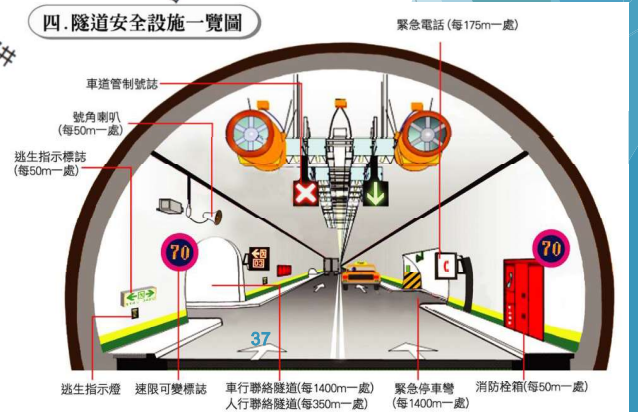
長隧道安全管理及事故應變(3/4)

雪山隧道通風與防災設施

- 隧道上方設置管道，每350公尺設排煙口，與逃生橫坑交錯配置
- 排煙口採動態定址式，發生火災時，以操作風機控制配合隧道監控及交控，可有效地將發生事故區域之煙熱迅速排除，進而展開逃生、救援行動

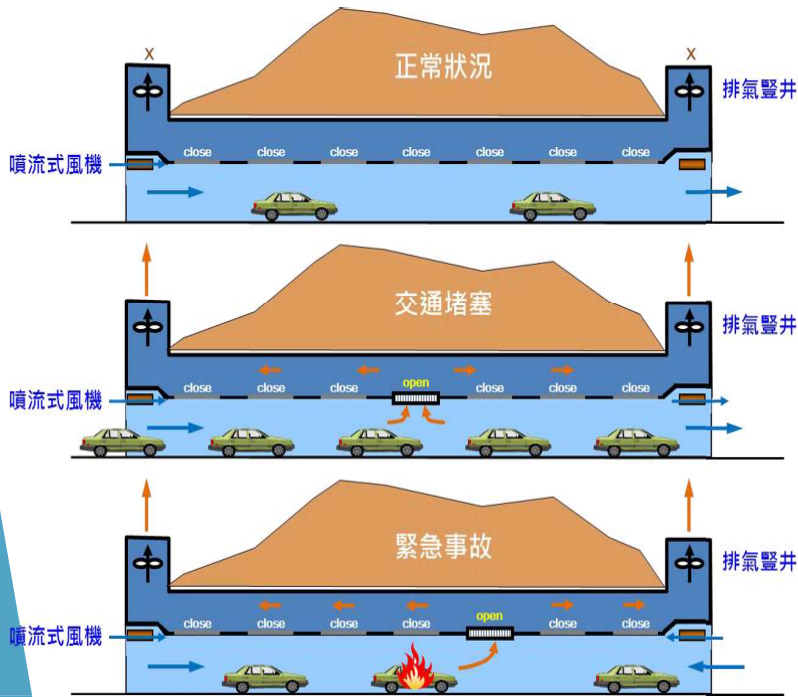


四. 隧道安全設施一覽圖

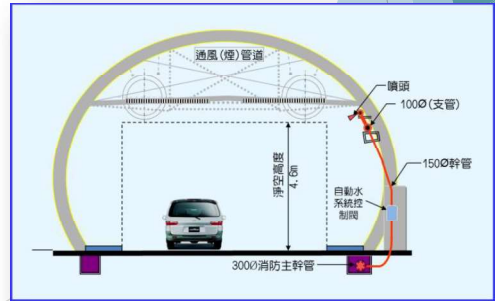


長隧道安全管理及事故應變(4/4)

蘇花改隧道通風與防災設施 > 隧道內建置複合式點排通風系統



隧道建置水霧系統，可先期壓制火勢



引用自簡天成(2015)

全生命週期維護管理(1/5)

百年磚砌鐵路隧道



整修繼續服役?



封堵?



活化再利用?

39

(照片摘自網路)

全生命週期維護管理(2/5)



全生命週期維護管理(3/5)

隧道完工時間久遠後，資料散失缺漏



全生命週期維護管理(4/5)

- 國內多數之隧道檢測案例，皆為業管單位發現隧道出現異狀且有安全疑慮時，方委請專業顧問進行檢測與評估
- 德國高鐵Nuremberg-Ingolstadt新線鐵路之9座隧道(全長27公里)，於2005年完工驗收前即進行全線隧道影像掃瞄，建立營運前基本資料(原始影像)



隧道維護管理-全生命週期調查規劃

42

(資料摘自李佳翰, 2010)

全生命週期維護管理(5/5)



交通部臺灣區國道高速公路局
Taiwan Area National Freeway Bureau, MOTC

高公局-國道隧道維護管理系統

- 2011年針對國道5號隧道特性，委託財團法人中興社開發
- 2013年底完成，2014年初上線運作
- 擴展應用至全臺國道隧道，於2017年推動後續擴充專案

烏塗隧道南口

維護管理資料查詢子系統

帳號

密碼

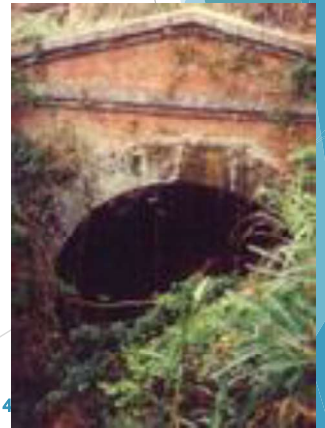
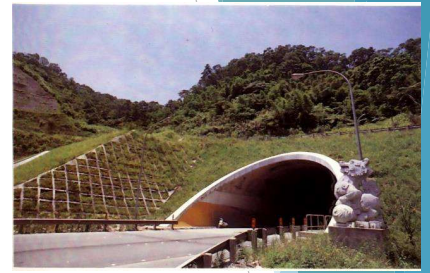
送出



公路總局-隧道維護管理系統開發，於2019年開始辦理

▶ 你是否知道，我們每天的生活都與隧道有關？

- ▶ 自來水
- ▶ 衛生下水道
- ▶ 灌溉系統
- ▶ 捷運、鐵路
- ▶ 公路
- ▶ 電力系統
- ▶ 防洪
- ▶



結語與省思

- 台灣的隧道工程是否與環境相容？
- 工程專業是否符合社會的期待？

美麗的島嶼

崎嶇的地形

