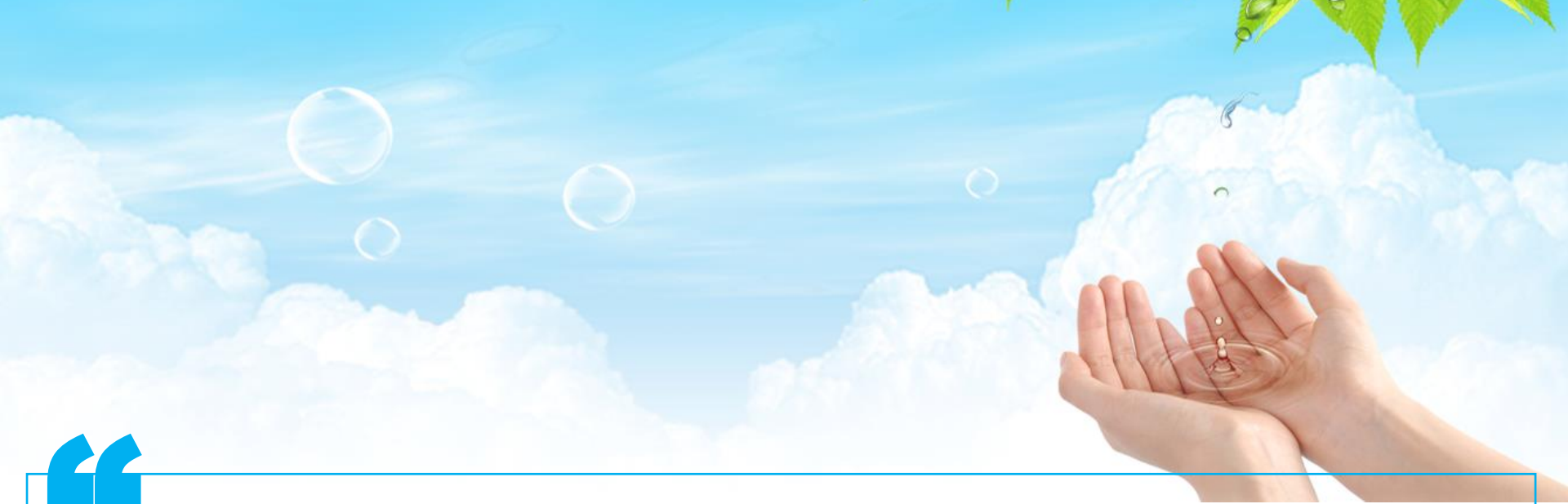




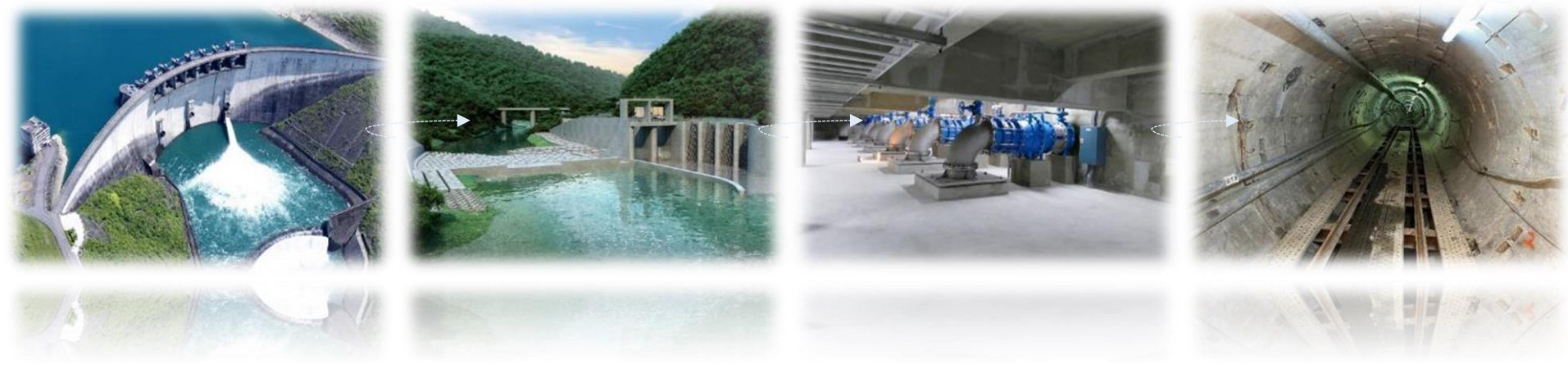
從翡翠原水管工程 談永續台北好水

*Sustainable Development in Taipei Water Department
from The Fei-tsui Rawwater Tunnel Project*

臺北自來水事業處工程總隊

副總隊長 陳維政

2020.09.24



簡報大綱

01. 穩定水源：翡翠原水管
Reliable Water Resources
02. 永續供水：設施整備
Sustainable Development
03. 結語
Prospects in the Future

01

穩定水源

Reliable Water Resources

臺北自來水事業處的使命與願景

Missions & Vision

- ◆ 北水處供水範疇涵蓋臺北市及新北市三重、中和、永和、新店4個區及汐止區7個里。
- ◆ 常態支援台水公司轄區之汐止、深坑、淡水、八里、板橋、新莊、泰山、蘆洲、五股，未來擴展支援三峽、鶯歌、樹林、土城等。



使命

提供質優量足、
用戶滿意的服務

安全
供水

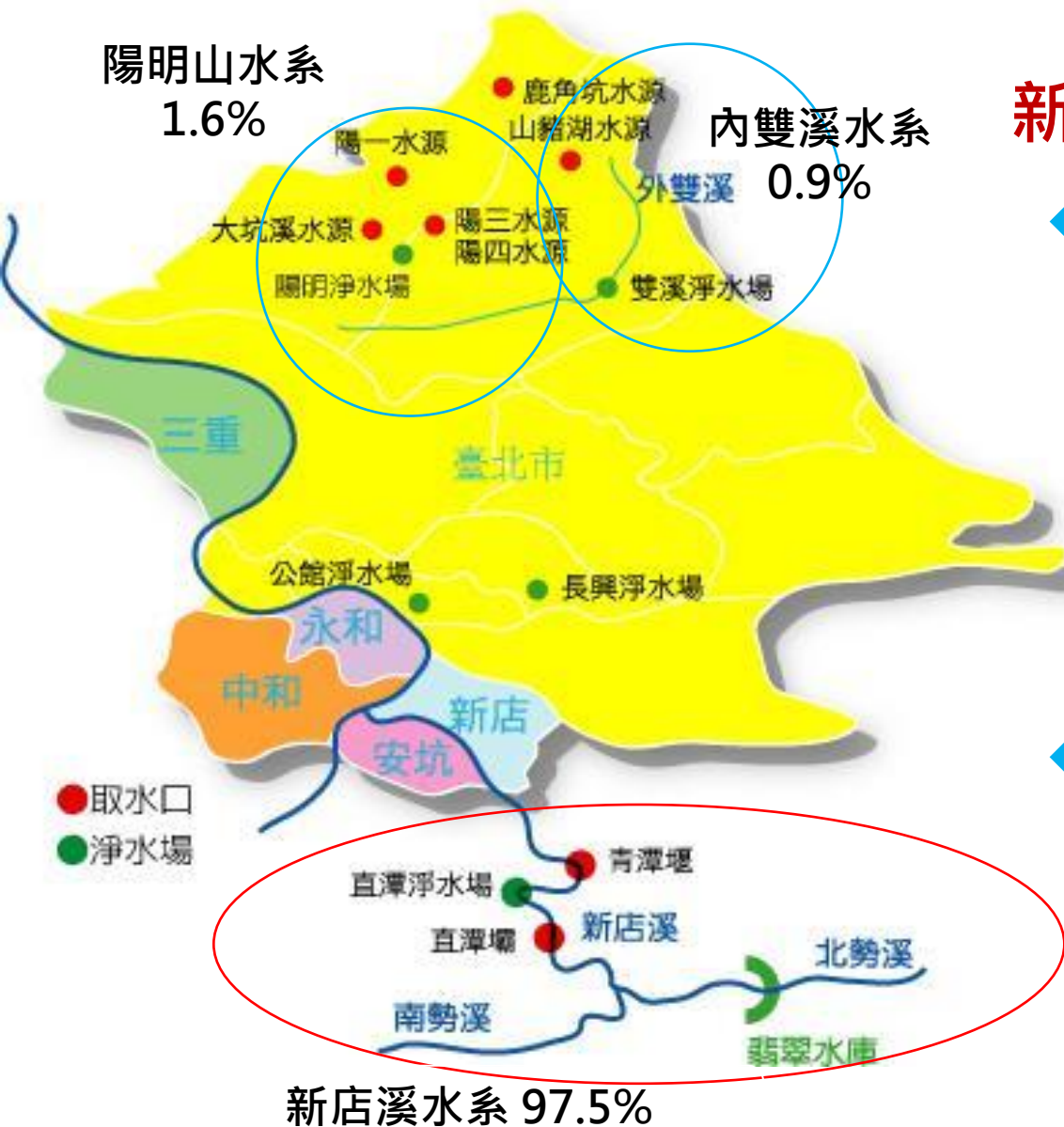
穩定
供水

永續
供水

願景

直飲、效能、永續
的台北好水

“單一水源風險&挑戰 *Risks & Challenges*



新店溪水系佔 97.5%

- ◆ 單一水源、極端氣候
新店溪水源3處取水口均位於南、北勢溪匯流處下游，豪雨使南勢溪濁度突增，造成淨水處理極大負荷，尤其極端氣候影響甚鉅。
- ◆ 影響大台北地區600萬人用水穩定。

“水源面臨危機 *Crisis from High Turbidity of Raw Water*

每年汛期，因颱風侵襲、東北季風共伴效應、持續性超大豪雨或短時間強降雨造成**南勢溪濁度飆高**，尤其104年8月蘇迪勒颱風後情況更為加劇。





穩定水源積極對策：構建翡翠原水管

Active Strategies: Raw Water Trunk Projects

於北勢溪翡翠水庫下游設置攔水堰及取水口，引取水庫放流較低濁度原水，以輸水隧道穿越直潭山至粗坑堰附近，銜接台電粗坑頭水路，導水至二原分水工，引接至直潭淨水場。



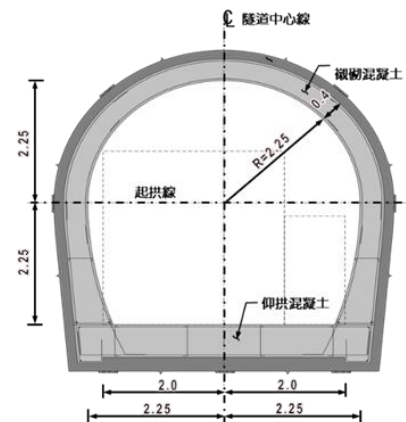
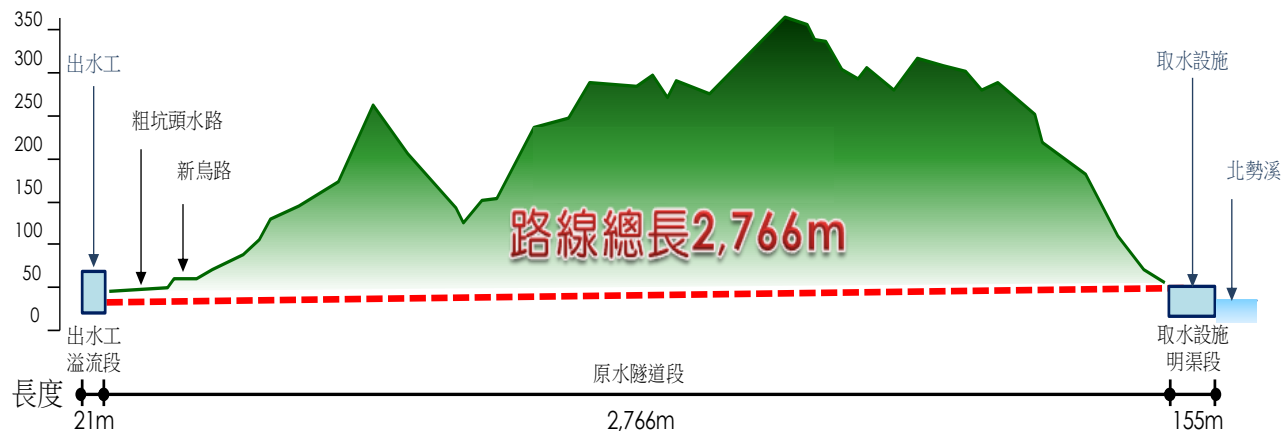
“ 翡翠原水管工程概述 *Project Profiles*

◆ 工程資訊

- 1) 總經費：NT. 20億元
- 2) 設計廠商：中興工程顧問公司
- 3) 施工廠商：福清營造公司
- 4) 施工期程：108.07-112.06

◆ 工程內容

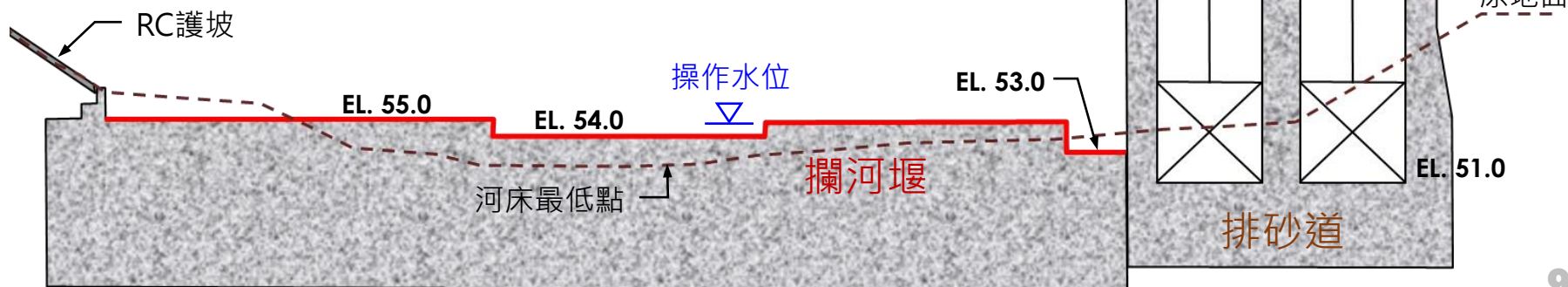
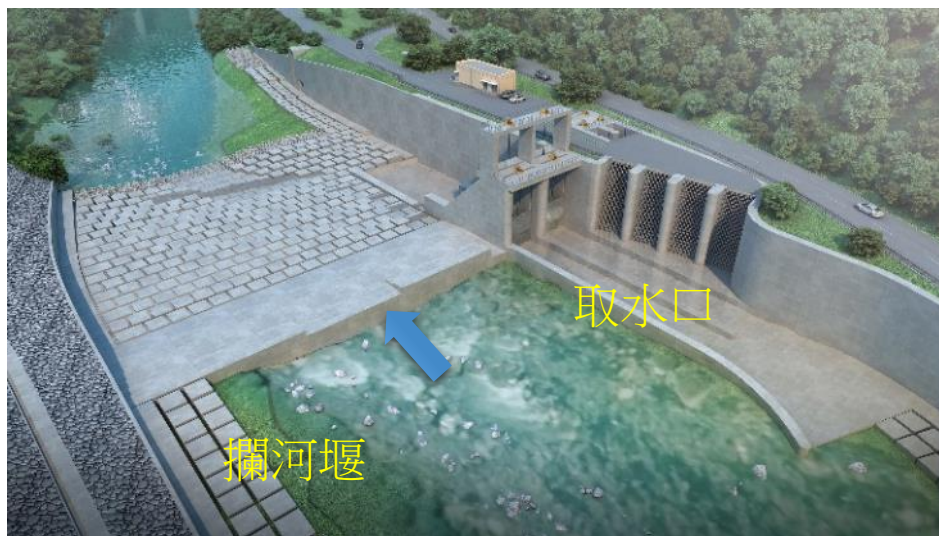
- 1) 取水工程：包含攔河堰、排砂道、取水工及調節池等。
- 2) 出水工程：包含出水井、消能池及粗坑頭水路銜接結構設施等。
- 3) 隧道工程：馬蹄形內徑4.5m，長度2,766m，**採機械鑽掘方式施工**。



翡翠原水管計畫-取水工設計理念 *Design Ideas*

◆ 設施佈設避免影響水庫操作及電廠發電

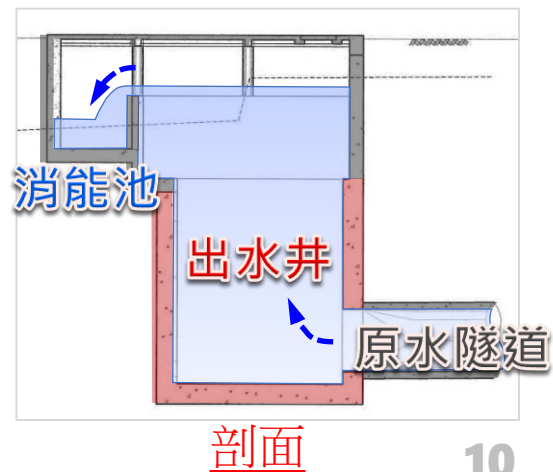
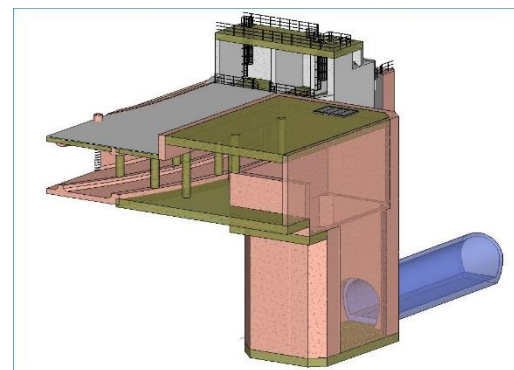
- 1) 攔河堰堰頂高程貼近河床、縮減工程量體
- 2) 降低操作水位、避免影響發電
- 3) 採階梯式固床工降低構造物量體，減少對河床及生態影響。



“翡翠原水管計畫-出水工設計理念” *Design Ideas*

◆ 強化設施水密性，並縮減設施用地

- 1) 接續隧道，出水井原水往上溢流經消能池，匯入粗坑頭水路
- 2) 緊鄰新店溪，提高設施水密性，防止高濁度洪水溢淹
- 3) 採壓入式沉箱工法，縮減用地需求，降低社區干擾。

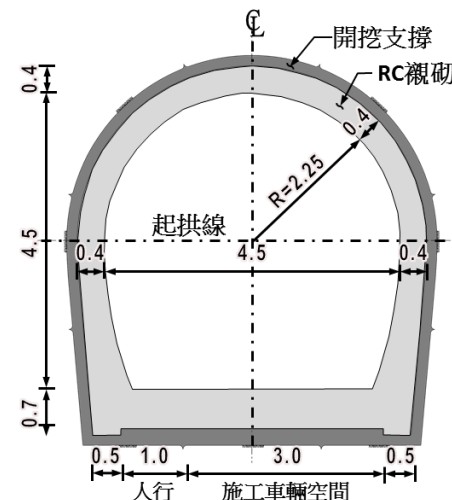


翡翠原水管計畫-隧道設計理念

Design Ideas

◆ 採生態影響最小工法，多工併進

- 1) 重力流輸水，前段渠流，後段壓力流
- 2) 環評承諾，採用機械鑽掘方式施工
- 3) 規劃2條橫坑，主隧道採4個工作面鑽掘施工





翡翠原水管施工現況

Construction Situations



市長主持開工動土典禮



市長視察隧道開挖進洞



主隧道開挖長度累計251m(109.08)



取水口工區圍堰施工



出水口工區沉箱/便道施工



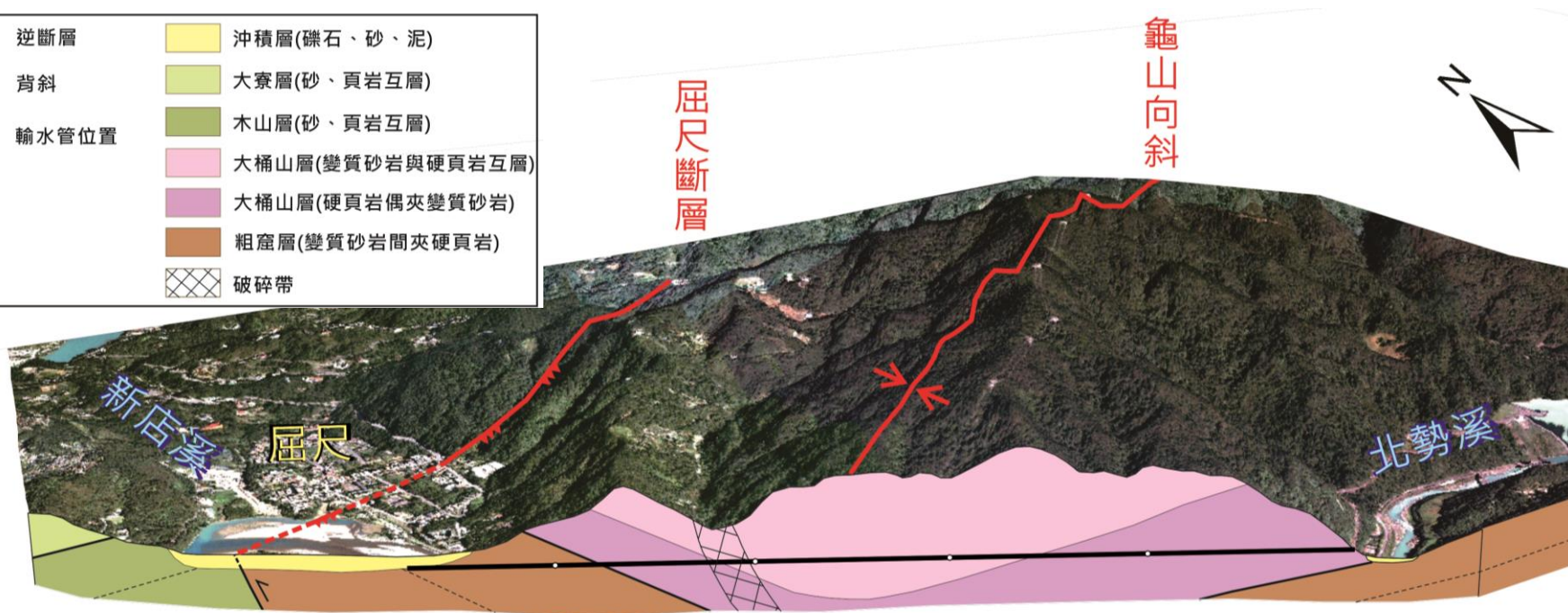
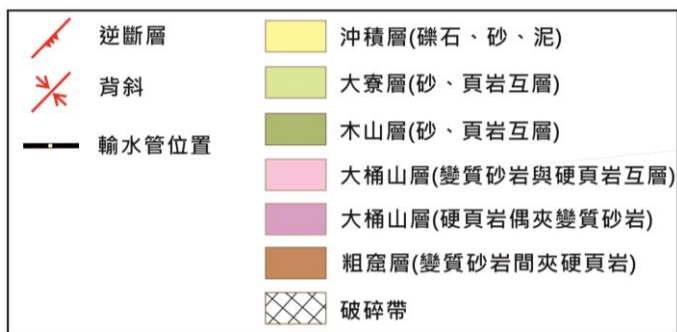


隧道施工遭遇困難 1/2

Geologic Challenges and Countermeasures

◆ 岩性變異大、開挖工率受限

- 1) 通過地層以粗礫層及大桶山層為主
- 2) 隧道中段通過**龜山向斜破碎帶**，抽坍及湧水潛勢高
- 3) 出水工鄰近**屈尺斷層**擾動帶



原水隧道地質剖面



隧道施工遭遇困難 2/2 *High Rock Hardness & Toughness*

◆ 岩性變異大、開挖工率受限

4) 岩性為硬頁岩、變質砂岩及其互層，單壓強度變異大且較設計資料高

- 設計調查地質強度：65.36~658.65 kg_f/cm²
- 實際開挖地質強度：255.04~958.35 kg_f/cm²

取樣隧道	取樣輪進	取樣里程	單壓強度(kg _f /cm ²)		
1號橫坑	第 63 輪	0K+063.2~063.8	569.88	655.21	671.63
1號橫坑	第 74 輪	S0k+229~S0k+230.5	465.42	487.77	499.80
1號橫坑	第 85 輪	S0k+250.5~S0k+252.5	463.38	600.90	764.54
2號橫坑	第 83 輪	0K+112.2~114.2M	712.00	734.00	779.00
2號橫坑	第 84 輪	0K+114.2~116.2M	426.53	486.60	552.01
2號橫坑	第 102 輪	0K+150.2~152.2	652.78	566.90	958.35
2號橫坑	第 116 輪	0K+178.2~180.2	255.04	480.64	713.05
2號橫坑	第132輪	0K+216.7-219.2	584.94	703.18	946.29
2號橫坑	第 137 輪	0k+226.2~0k+227.7	511.89	679.03	700.36
1號主坑下游	第52輪	0K+187-189	584.44	655.93	703.89





隧道施工解決對策 1/2 *Water Inrush & Collapse*

- ◆ 提高隧道開挖機具能量，並採用輔助工法，提升工率。



開挖施作預裂孔



預裂孔孔徑加大

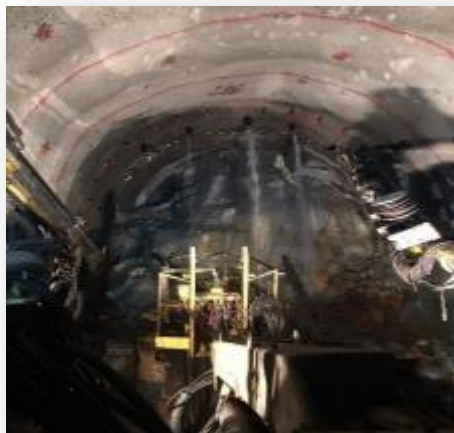


油壓劈裂

- ◆ 前進探查掌握前端地質條件，提前因應地質破碎或湧水潛勢，預為緊急措施。



抽坍現象



岩栓PU灌漿



固結灌漿



隧道施工解決對策 2/2 *Expert consultations*

◆ 邀請隧道領域專家學者及上級蒞臨指導。

- 1) 109.05.13 水利署王藝峰副署長及黃金山專家現場勘查
- 2) 109.07.03 邀請黃金山、張國強、賴典章、廖銘洋、陳志南、孫思優、曾何騰等隧道專家座談研討施工困難
- 3) 109.07.15 台北市政府研考會長官蒞臨指導
- 4) 109.08.12 行政院工程會主委、水利署等長官蒞臨指導

專家學者現勘指導



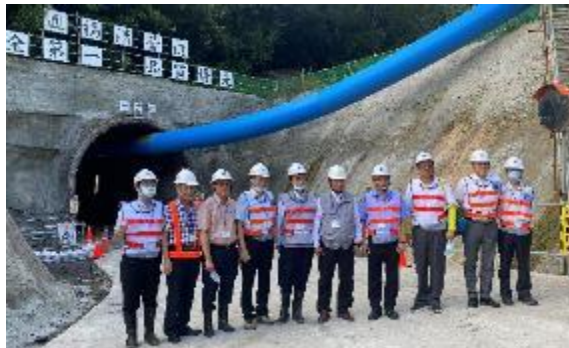
行政院工程會主委等長官蒞臨指導



市府研考會長官蒞臨指導



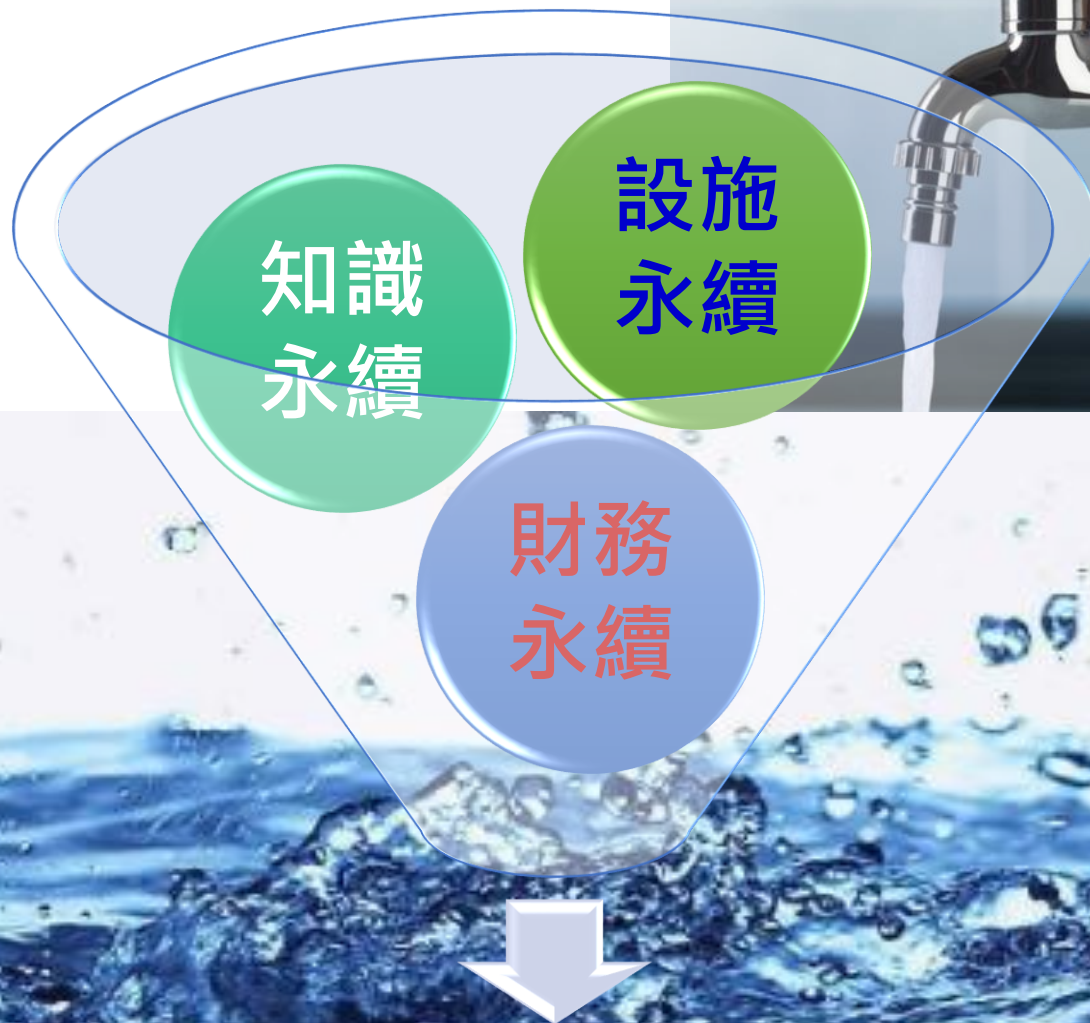
隧道專家指導施工研討會議



02

永續供水

Sustainable Development



永續經營

照片來源

Shutterstock <https://www.commonhealth.com.tw/article/article.action?nid=82680>

<https://kknews.cc/news/pqxqp3p.html>

“致力供水系統完善 *Backup System Portfolio*

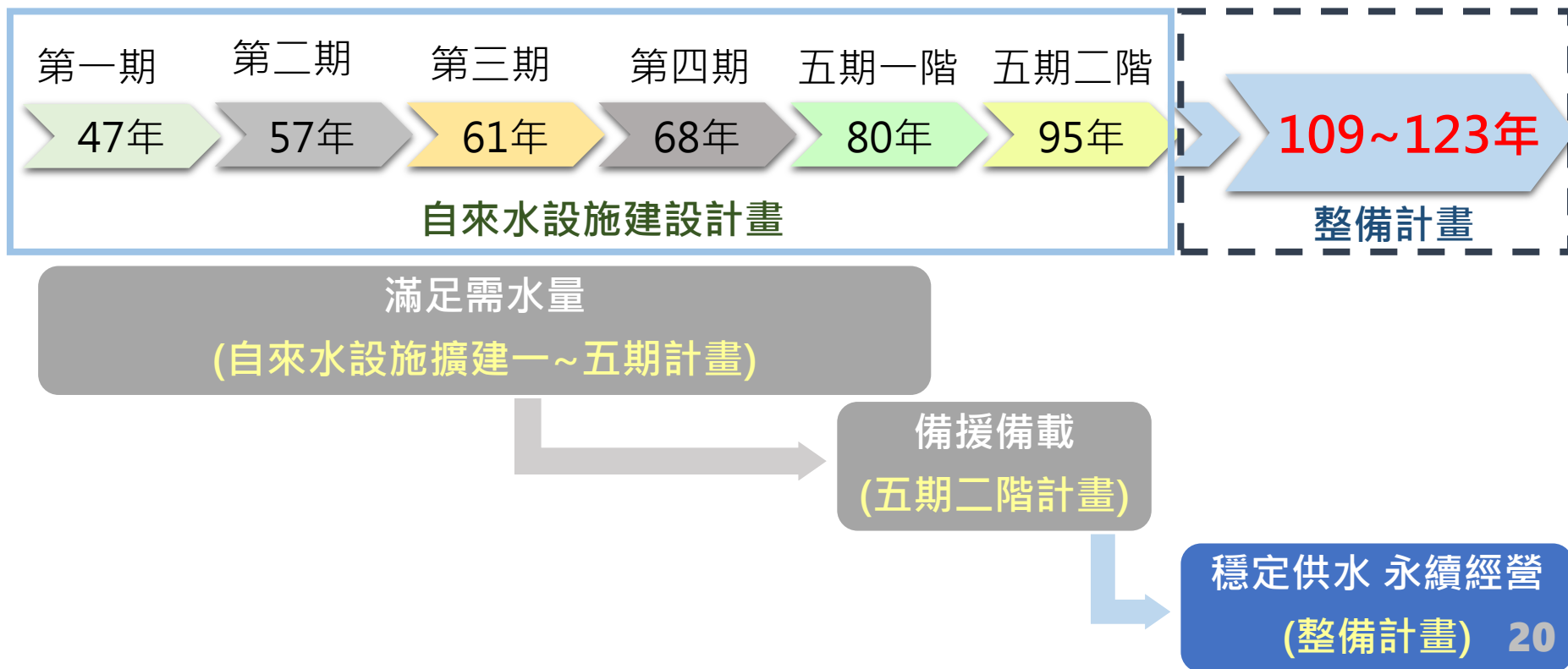
◆ 滿足供水需求量後，為因應緊急狀況，將用水影響降到最低，自2006年推動**15年備援備載長程計畫**，投入**153億元**，完善供水系統。

- **備援**：指一套系統發生問題後，另一套系統可以立即上線因應，翡翠原水管就是新店溪原水不能取用時的備援計畫之一。目前北水處11個供水分區皆為雙線供水。
- **備載**：指該淨水場除滿足了最大日之供水需求外，尚有較充裕之能力，因應淨水設備、設施維修或其他淨水系統之突發狀況。目前北水處淨水備載率為40%。



“永續供水面臨困境及對策 *Utilities Aging*

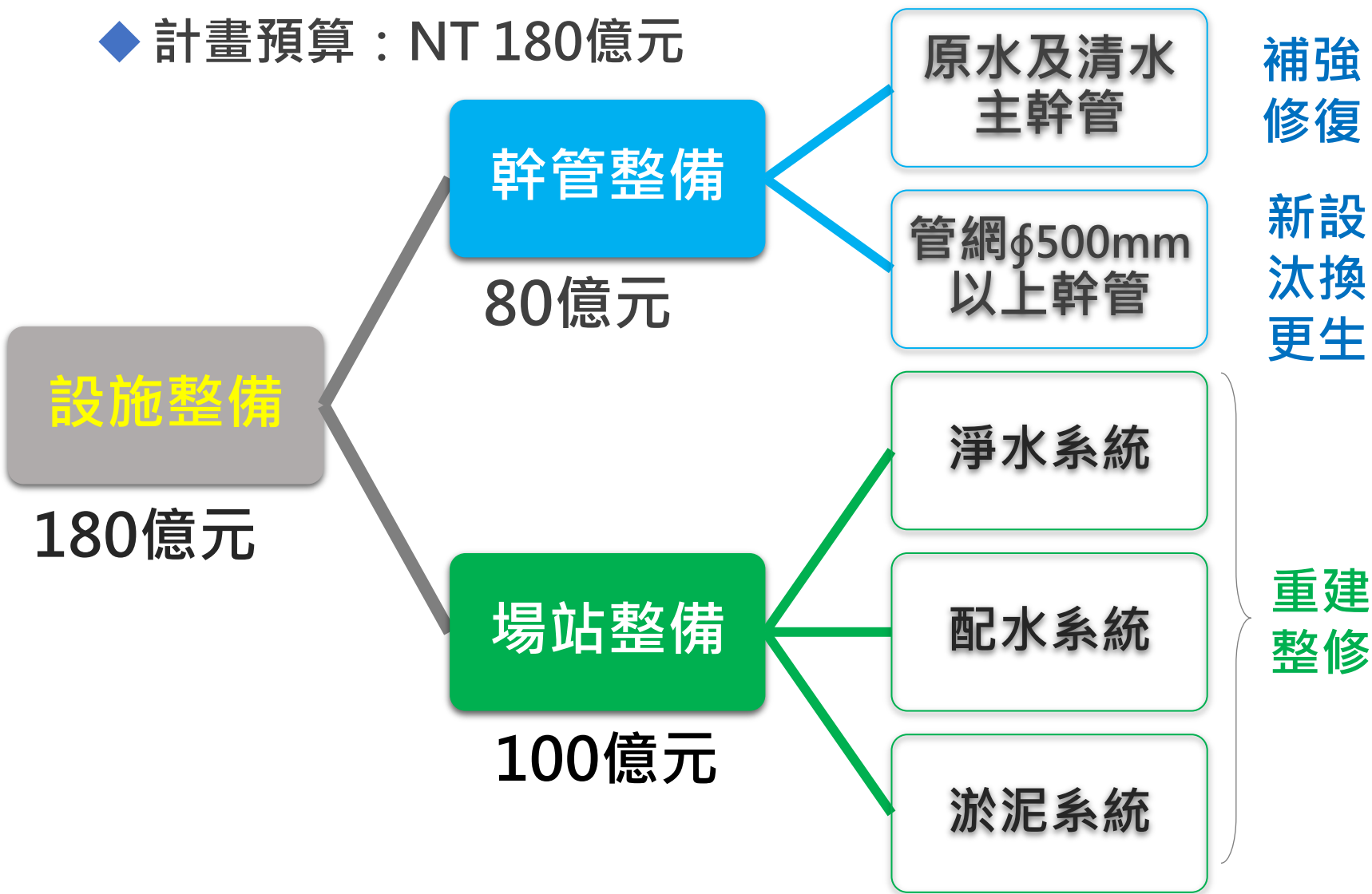
- ◆ 北水處自來水設施自民國47年建置迄今，**50%以上**的設施及幹管，面臨逾齡老舊、效能降低及防災能力不足問題。
- ◆ 2020年啟動「**自來水設施整備計畫**」，預計投資**180億元**，全面健檢整備，確保設施安全無虞，同步提升效能及延壽，追求永續供水經營目標。



“ 自來水設施整備計畫 *Renovation Portfolio*

◆ 計畫期程：15年(2020-2034年)

◆ 計畫預算：NT 180億元



管網幹管整備規劃 *Pipeline Network Renovation*

◆ 計畫目標完成幹管整備長度達 **75km**

檢視維修

- 針對原水及清水幹管每年至少完成3Km
- 每5年執行一次例行性檢查

管材耐震能力提升

- 全面盤點，進行潛在危害評價分析
- 據以辦理管線強化改善

管網系統優化

- 檢核新增備援幹管需求
- 檢驗管網水理，增設連通幹管優化供水壓力及配水彈性

“ 幹管整備執行模式-老舊管線更新

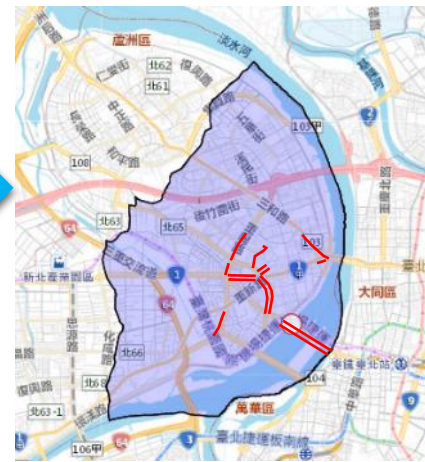
Pipeline Rehabilitation

幹管評估-篩選整備管線標的

軟體	類別	評估因子
EPANET	供水條件	1.管徑(mm)
		2.操作壓力(kg/cm ²)
	影響程度	管線損壞時影響程度 (以管線流量作為基準)
arcGIS	管理效能	維修次數
	老化程度	管線材質及管齡
	地質潛勢	土壤液化潛勢

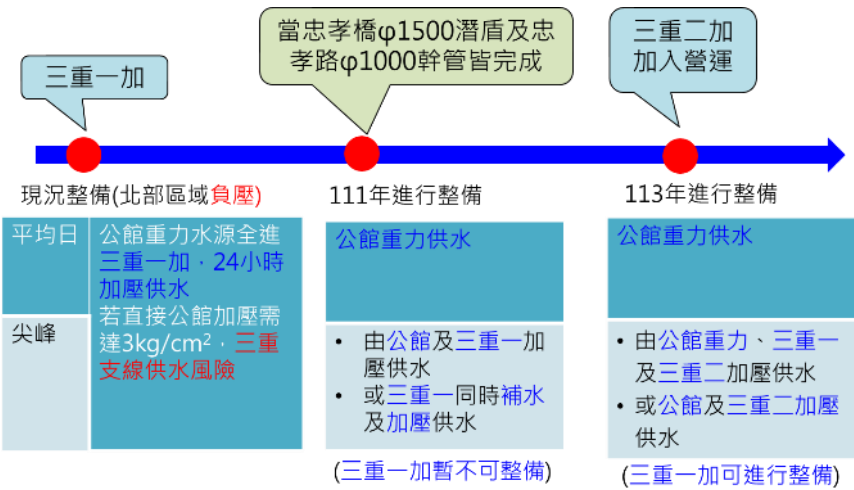


整備管線套疊-調查地下管線及交通狀況



情境模擬-

分析整備方案施作時機及預估問題



標的幹管停水模擬-北部供水區水壓降低

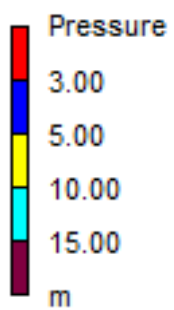


幹管整備執行模式-管網優化

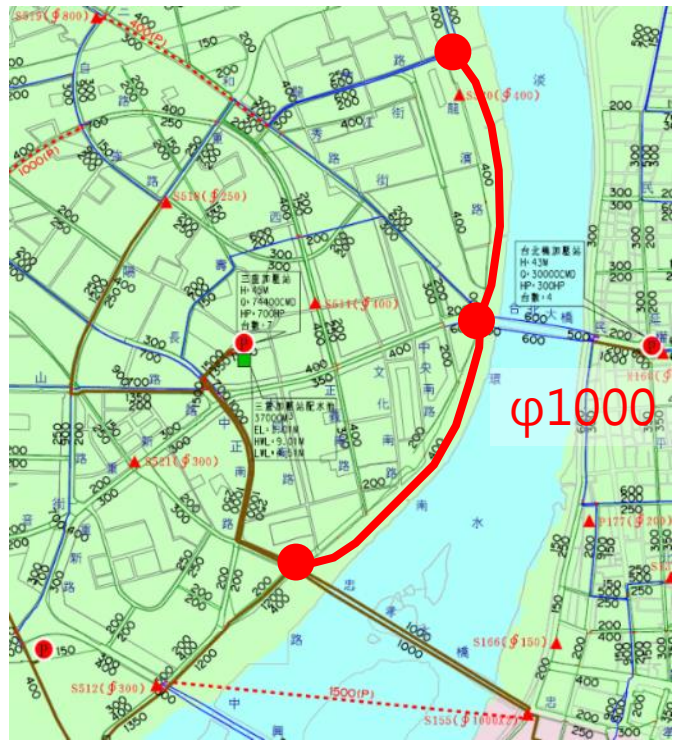
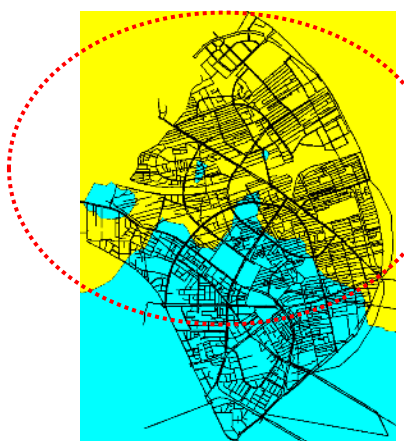
Network Optimization Programs

水力分析研擬供水系統優化方案

平均日25萬CMD



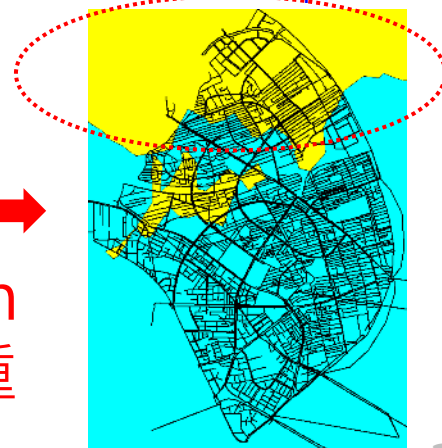
尖峰35萬CMD



增設環河北路φ1000



增設環河北路φ1000



增設環河北路φ1000mm
幹管，可有效改善三重
北部區域壓力偏低問題

“ 幹管整備工法 *ND-DIG Technologies*

- ◆ 市區輸水幹管多佈設於交通幹道，道路下管線密集重疊，明挖方式單一工法汰換更新困難
- ◆ 過往進行幹管整備，已導入免開挖技術工法，運用既有人孔或採行最低限度開挖之工作井，降低交通影響及環境衝擊，提升工程可行性。



新設

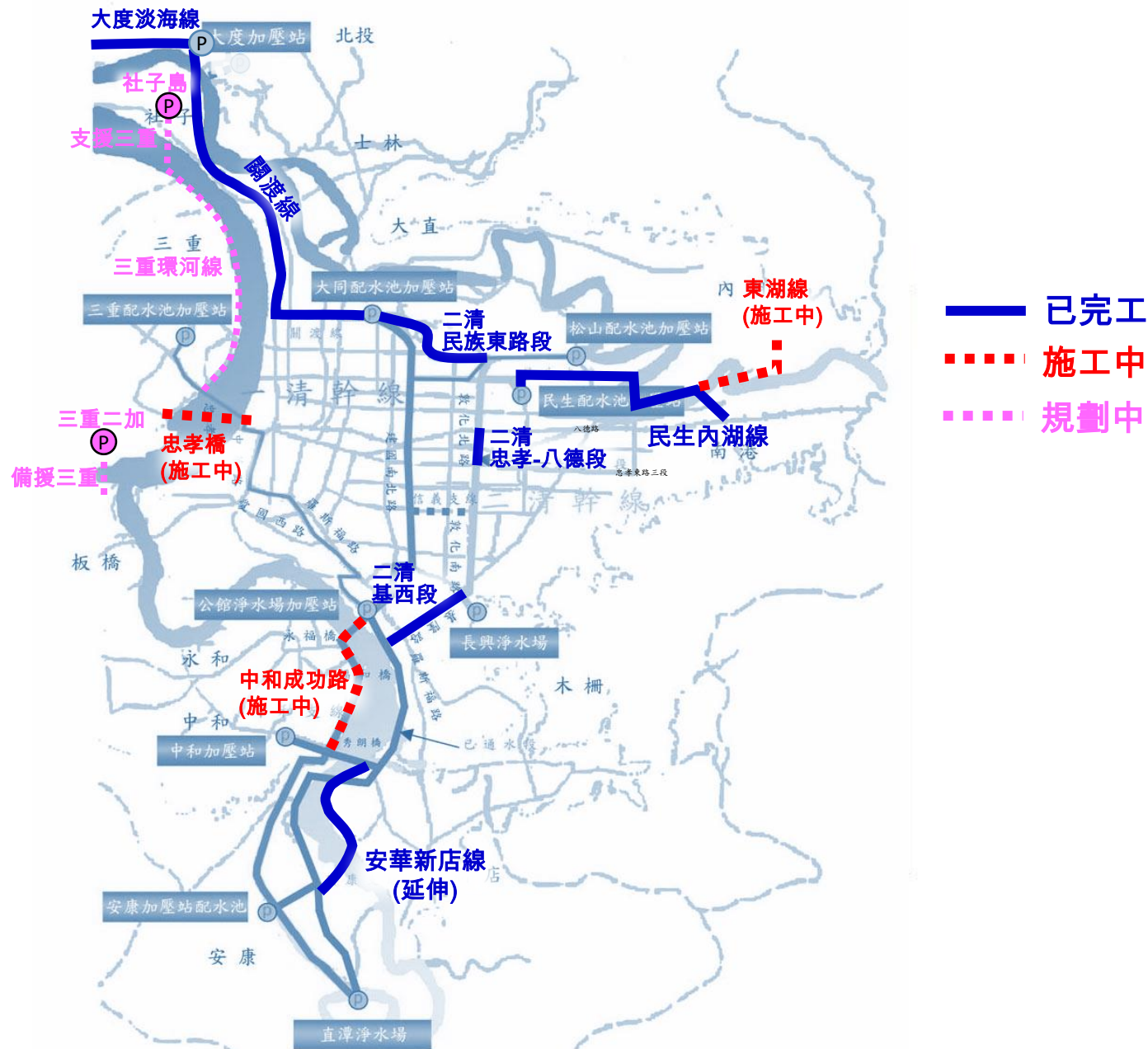
- 潛盾工法(Shield Tunnel Machine)
- 推進工法(Pipe Jacking)
- 短管推進工法(S.S. Jacking)
- 不斷水工法(Hot Tapping)

更生

修補

- 現場內襯固化工法(CIPP)
- 內套管工法(HDPE)
- 內套環工法 (Internal Ring)
- 鋼內襯工法(Steel Lining)
- 噴塗工法(Spray)

“ 潛盾工程實例 *Shield Tunnel Projects*





潛盾工程實例 *TBM Cases*

累計投入經費達**67億元**

工程名稱	承攬廠商	金額(元)
第二條清水輸水幹管(民族東路、基隆路西段、忠孝東路至八德路)，長度約3,928m	宏統營造(股)公司、 承鴻營造(股)公司、 榮民工程(股)公司、 錦源工程(股)公司	1,106,420,000
民生內湖線輸水幹管，長度約3,649m	偉盟工業(股)公司	1,078,252,170
安華新店線φ1500mm輸水幹管，長度約 3,680m	偉盟工業(股)公司、 采盟營造(股)公司、 飛龍水電(股)公司	866,956,020
關渡線(大同加壓站至玉門街堤防)輸水管，長度約 2,000m	偉盟工業(股)公司	500,273,000
關渡線(玉門街堤防外-雙溪橋下)φ2000mm輸水管，長度約 3,500m	偉盟工業(股)公司、 采盟營造(股)公司、 興南鑄造廠(股)公司	936,402,044
關渡線 (雙溪口至大度配水池段)φ2000mm輸水幹管，全長約 4,300m	國統國際(股)公司、 高堃營造有限公司	771,111,345
大度淡海線φ1200mm輸水管，長度約2,255m	豐順營造(股)公司	345,600,000
一清幹線(中、永和成功路PCCP)備援幹管，長度約2,800m(施工中)	豐順營造(股)公司	690,000,000
忠孝橋φ1500mm輸水幹管，長度約1,500m(施工中)	豐順營造(股)公司、 飛龍水電(股)公司	306,800,000
東湖φ1000mm輸水幹管，長度約1,117m(施工中)	高堃營造有限公司	166,800,000

“ 整備工程案例 *Corporation Partners*

- 采盟營造股份有限公司
- 金德豐工程有限公司
- 飛龍水電股份有限公司
- 新昌營造有限公司

推進工程

- 金德豐工程有限公司
- 飛龍水電股份有限公司
- 桓展企業有限公司
- 順盛工程有限公司

短管推進

- 祥泰水電股份有限公司
- 碧城興業股份有限公司

大口徑不斷水

- 宇泰豐科技實業股份有限公司
- 航富工程股份有限公司

現場內襯固化

- 金德豐工程有限公司
- 飛龍水電股份有限公司
- 桓展企業有限公司
- 橋豐科技股份有限公司

內套環、清洗、 檢視、檢測

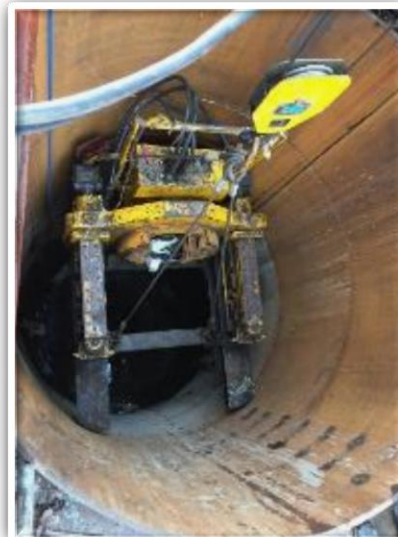
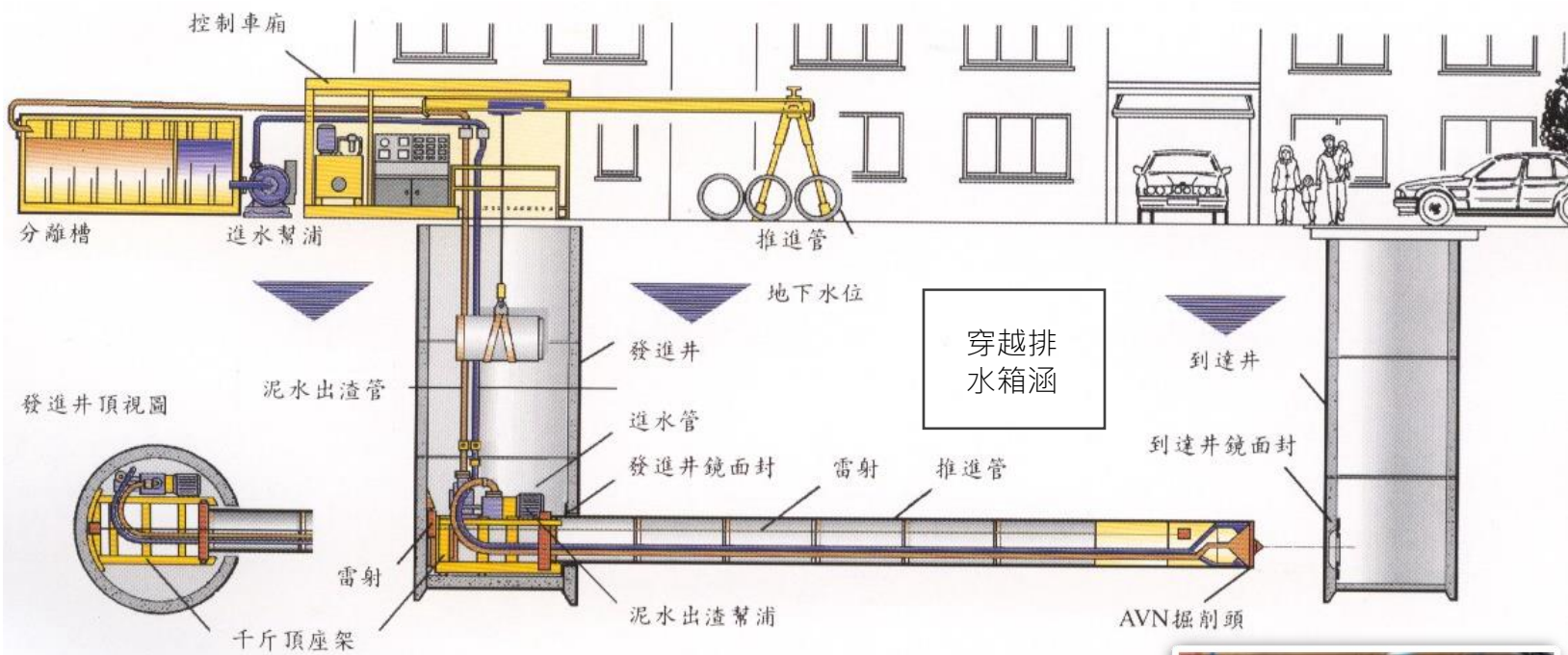
- 飛龍水電股份有限公司
- 桓展企業有限公司
- 新昌營造有限公司

鋼鈑內襯工程

整備工程案例-短管推進

Short Segment Pipe Jacking

施工示意圖

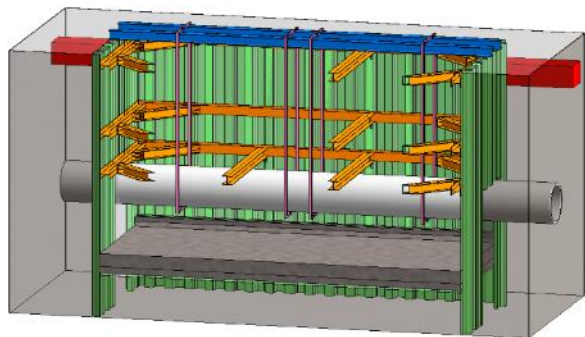




整備工程案例-大口徑不斷水增閥/分支

Uninterruptable Water Service Methods

施工示意圖

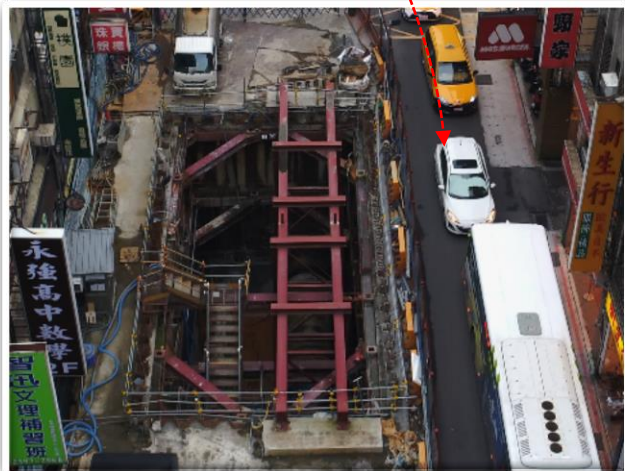


工作井

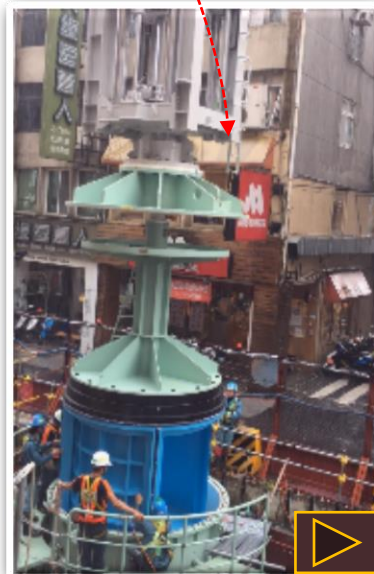
穿孔

切換閥按裝

切換水流



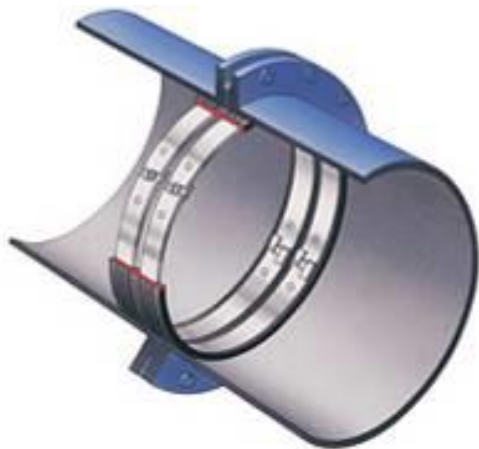
南昌路 ϕ 1650mm施工



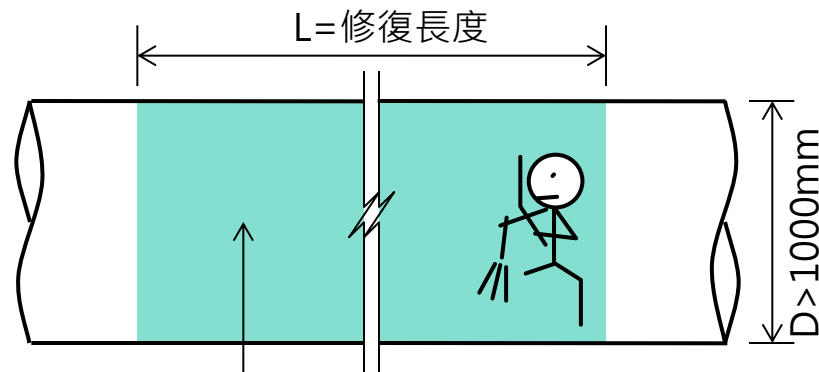
“整備工程案例-內套環+鋼襯板

Internal Ring & Steel Lining

施工示意圖

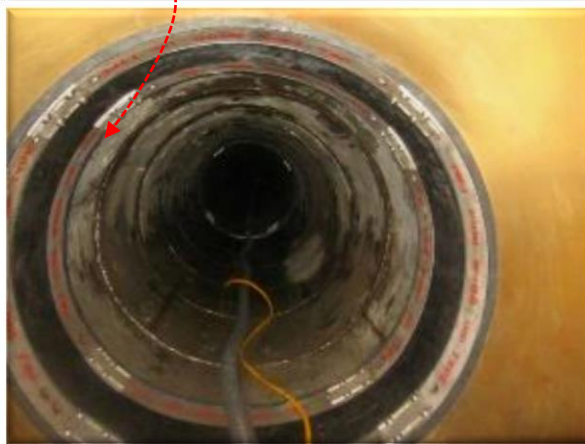


內套環



SUS304鋼板內襯

管壁狀況

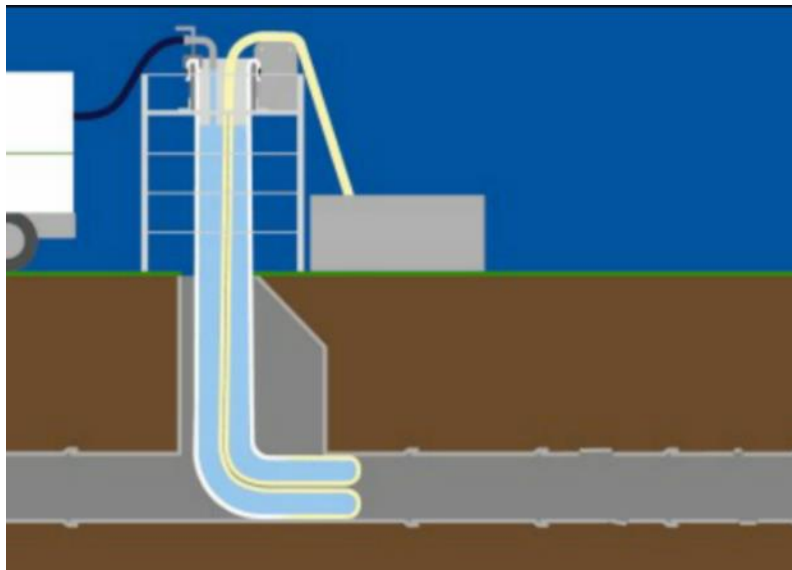


辛亥路 ϕ 1200mm幹管檢修

“ 整備工程案例-現場內襯固化

Cure In-Place Pipeline Method

施工示意圖



探挖



工作井



內襯反轉施工



完工CCTV檢視

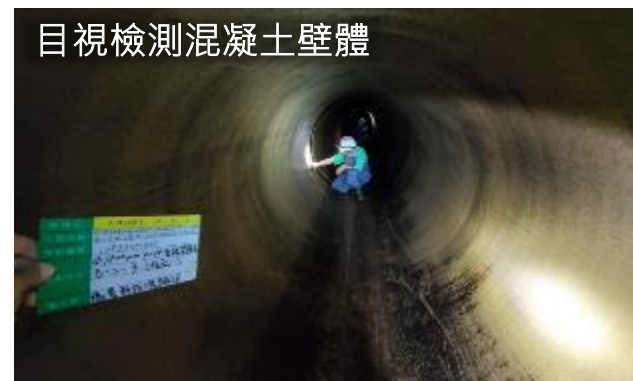
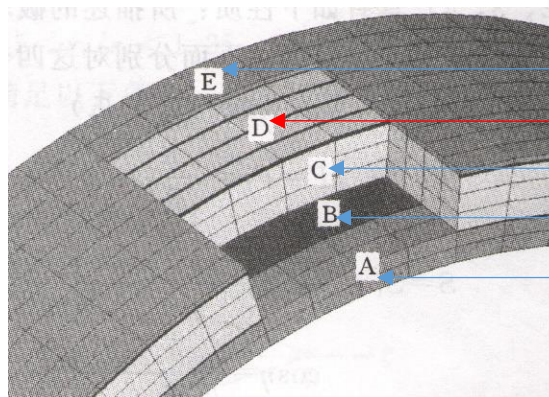
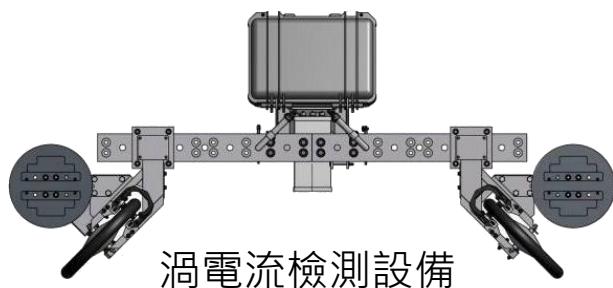


復興南路φ 1000mm幹管檢修更生

“整備工程案例-PCCP非破壞性檢測(渦電流)

Non-Destructive Inspection (NDI)
- Electromagnetic technology

施工示意圖



北投幹線 $\phi 1500\text{mm}$ 檢測

02

結語

Prospects in the Future

1) 穩定水源 追求安全供水 *Safety*

- 翡翠原水管確保高濁度時期可引取乾淨水源，確保大臺北地區供水穩定安全。
- 配合中央「產業穩定供水策略」跨區域合作聯合調度供水，紓解石門水庫供水壓力。

2) 維護設施 期達永續經營 *Sustainability*

- 以全生命周期概念使自來水設施延壽，提升整體效能及營運管理效率，建立宜居、永續經營用水環境。

3) 各界合作 推手宜居環境 *Cooperation*

- 北水處規劃長期計畫需求，藉由產、學界經驗融合交流，邁向不缺水、宜居環境的願景。



簡報結束，敬請指教

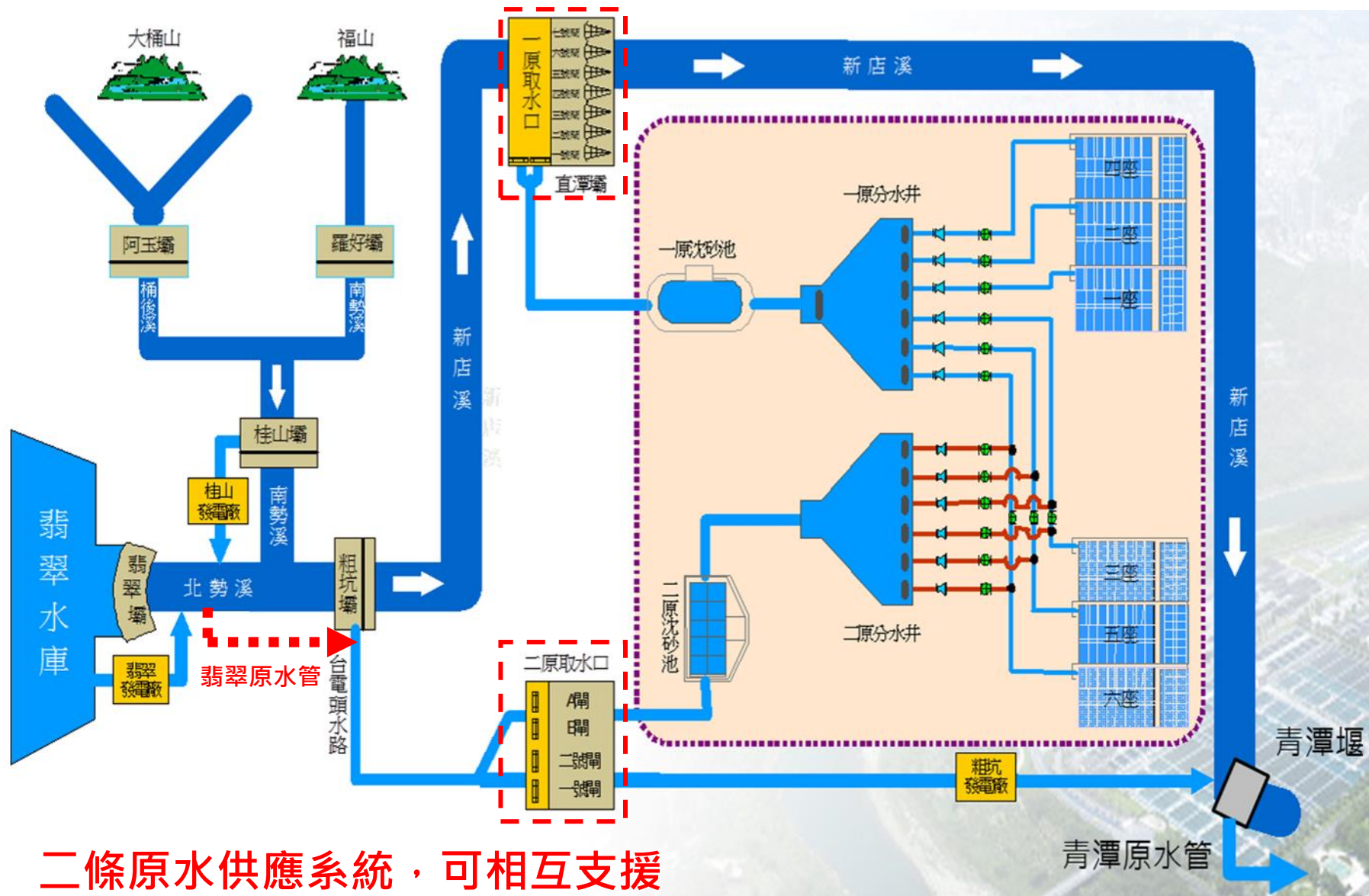
**Thank You
for Your Attention.**



00

備頁

直潭淨水場-原水系統 *Raw Water Trunk System*



二條原水供應系統，可相互支援
配合翡翠原水管作取水調度

雙線供水備援 Dual Water Trunks for Backup

民國95年
各分區供水備援能力為37%

50% ↓ ● 99年
民生南港線管線完工(南港; 內湖)

55% ↓ ● 101年
關渡線第2階段管線完工(士林)

58% ↓ ● 102年
安華安康線完工(新店; 中永和)

84% ↓ ● 103年
安華新店線完工(新店; 中永和)

94% ↓ ● 104年
環河南路線完工(三重; 萬華)

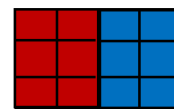
98% ↓ ● 105年
關渡線第3階段完工(北投)

100% ● 107年
北投地區形成雙線供水系統

雙線供水比率



關渡線 北投線



士林地區

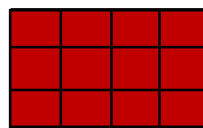


大度加壓站

緊急發揮
備援機制



北投加壓站



淡水地區



北投地區

緊急時期
雙線供水操作



翡翠原水管工程-原設計地質調查(隧道)

Geologic Condition Survey

根據地表地質調查、岩石單軸壓縮試驗、湧水量評估、弱面分析及岩質指標等分析結果，並依上述分類原則，進行隧道沿線岩體分類，其結果如圖 7.3-1，說明如下：

(1) 隧道 A 段 sta. 0k+000~sta. 0k+100

本段岩性為硬頁岩偶夾變質砂岩，利用鑽孔 BH-1(30m)、鑽孔 BH-5(150m)及地表地質調查資料成果，由 RMR 定量評級標準定量評分結果，其 RMR $\leq$ 10 佔 15%，RMR 為 20~11 佔 20%，RMR 為 40~21 佔 25%，RMR 為 60~41 佔 35%，RMR 為 80~61 佔 5%，依岩體分級標準表分為 All 類(5%)、A III 類(35%)、A IV 類(25%)、A V 類(20%)、A VI 類(15%)。

(2) 隧道 B 段：sta. 0k+100~sta. 1k+390

其岩性為硬頁岩與變質砂岩互層為主，利用鑽孔 BH-5(150m)及地表地質調查資料成果，由 RMR 定量評級標準定量評分結果，其 RMR $\leq$ 10 佔 10%，RMR 為 20~11 佔 20%，RMR 為 40~21 佔 15%，RMR 為 60~41 佔 40%，RMR 為 80~61 佔 15%，依岩體分級標準表分為 All 類(15%)、A III 類(40%)、A IV 類(15%)、A V 類(20%)、A VI 類(10%)。

(3) 隧道 C 段 sta. 1k+390~sta. 2k+090

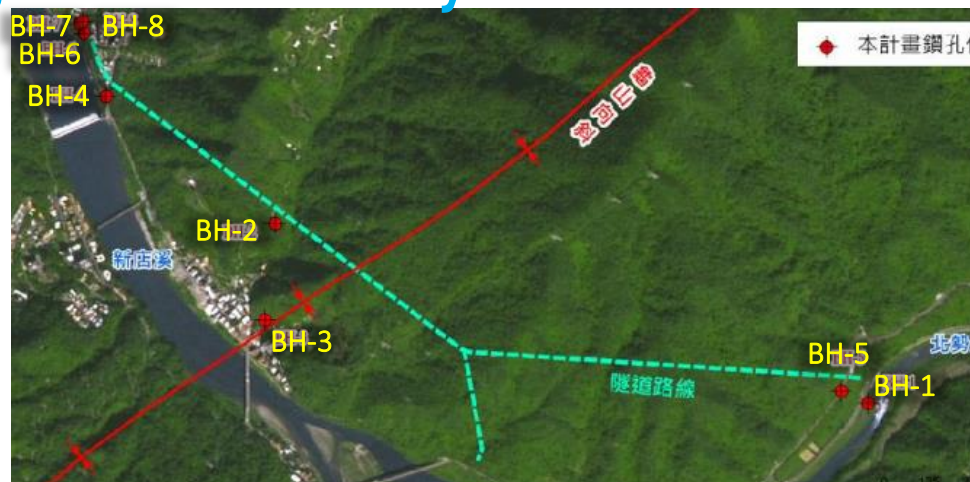
其岩性為硬頁岩與變質砂岩互層為主，利用鑽孔 BH-2(170m)、水平鑽孔 BH-3(100m)及地表地質調查資料成果，由 RMR 定量評級標準定量評分結果，其 RMR $\leq$ 10 佔 15%，RMR 為 20~11 佔 15%，RMR 為 40~21 佔 40%，RMR 為 60~41 佔 25%，RMR 為 80~61 佔 5%，依岩體分級標準表分為 All 類(5%)、A III 類(25%)、A IV 類(40%)、A V 類(15%)、A VI 類(15%)。

(4) 隧道 D 段：sta. 2k+090~sta. 2k+610

其岩性為硬頁岩與變質砂岩互層為主，利用鑽孔 BH-2(170m)、鑽孔 BH-4(170m)及地表地質調查資料，由 RMR 定量評級標準定量評分結果，其 RMR $\leq$ 10 佔 5%，RMR 為 20~11 佔 10%，RMR 為 40~21 佔 30%，RMR 為 60~41 佔 30%，RMR 為 80~61 佔 25%，依岩體分級標準表分為 All 類(25%)、A III 類(30%)、A IV 類(30%)、A V 類(10%)、A VI 類(5%)。

(5) 隧道 E 段：sta. 2k+610~sta. 2k+790

本段隧道頂部為沖積礫石層，底部為砂岩或砂頁岩互層，利用鑽孔 BH-6(40m)、鑽孔 BH-7(50m)、鑽孔 BH-8(40m)及地表地質調查資料，本段沖積礫石層以礫石支持為主，膠結鬆散，依岩體分級標準表分為 DV 類(30%)、DVI 類(70%)。



孔號	深度 (m)	含水量 W_n (%)	乾密度 γ_d (g/cm ³)	單壓強度 σ_c (kgf/cm ²)	破壞應變 ϵ_f (%)	岩性
BH-1	17.20-17.50	1.00	2.66	288.55	0.54	硬頁岩
BH-2	73.75-74.00	1.22	2.64	122.47	1.10	硬頁岩與變質砂岩互層
BH-2	92.00-93.00	0.58	2.72	564.30	0.80	硬頁岩
BH-2	102.10-102.25	0.67	2.69	434.71	1.44	硬頁岩與變質砂岩互層
BH-3	39.00-39.25	1.84	2.64	247.26	1.05	硬頁岩
BH-3	83.40-83.70	0.53	2.68	471.51	0.76	變質砂岩
BH-4	18.00-18.20	0.79	2.66	136.52	0.70	硬頁岩與變質砂岩互層
BH-4	39.30-39.50	0.52	2.67	640.46	1.27	變質砂岩
BH-5	37.25-37.50	0.94	2.66	237.57	0.90	硬頁岩與變質砂岩互層
BH-5	53.75-54.00	1.52	2.66	280.71	0.95	硬頁岩
BH-6	17.60-17.85	0.94	2.67	409.83	1.30	硬頁岩
BH-8	37.20-37.40	3.54	2.36	514.45	0.87	砂岩



翡翠原水管工程-原設計地質調查(橫坑)

Geologic Condition Survey

孔號	孔深 (m)	E 座標	N 座標	位置
BH-N-1	20	307692.1559	2755632.069	取水設施左岸
BH-N-2	30	307575.3633	2755646.075	取水設施右岸
BH-N-3	20	307480.3208	2755536.782	1 號橫坑
BH-N-4	20	306431.985	2755373.433	2 號橫坑
BH-N-5	20	306440.5888	2755385.628	2 號橫坑
BH-N-6	20	306447.8319	2755406.93	2 號橫坑
BH-N-7	30	305262.5381	2756600.457	出水工
BH-N-8	30	305251.1157	2756637.278	出水工

孔號	深度 (m)	含水量 W _n (%)	乾密度 γ _d (g/cm ³)	單壓強度 σ _c (kgf/cm ²)	破壞應變 ε _f (%)	岩性
BH-N-1	8.00-8.20	1.44	2.64	257.77	1.04	灰色硬頁岩，岩質中強
BH-N-1	19.00-19.25	0.50	2.59	445.77	1.01	灰色硬頁岩與變質砂岩互層，岩質中強
BH-N-2	18.00-18.30	1.53	2.49	168.20	0.77	灰色硬頁岩，岩質弱
BH-N-3	16.20-16.50	0.57	2.65	740.73	1.48	灰色變質砂岩，岩質強
BH-N-4	19.00-19.30	0.89	2.65	658.65	0.96	灰色硬頁岩與變質砂岩互層，岩質強
BH-N-5	18.10-18.50	0.99	2.63	355.43	0.98	灰色硬頁岩，岩質中強
BH-N-6	14.68-14.90	2.80	0.97	89.01	0.06	灰色硬頁岩，岩質弱
BH-N-7	13.60-14.00	1.53	2.64	149.44	0.88	灰色硬頁岩，岩質弱
BH-N-7	14.80-15.00	0.42	2.65	609.75	1.06	灰色變質砂岩，岩質強
BH-N-8	17.00-17.40	2.03	2.60	65.36	0.18	灰色硬頁岩，岩質弱

