

略述八十年前日月潭 水電工程技術 — 以鹿島組為例

林炳炎／2009年台電營建處檢驗組長退休

2001年虞兆中教授在土木水利工程學會提倡「尋找台灣十大土木史蹟」，他提供獎金，這是「台灣土木史」成為新聞話題的首例。2001年12月7日於國立台北科技大學舉行展覽與頒獎表揚。學會也成立「台灣土木史委員會」。今年，學會也提出「日月潭水電工程」給文資認證委員會，進行認證工作。現在來探討日月潭水電工程之技術與文化資產，深具意義。

2014年7月29日，台電盛大舉行日月潭發電所發電80週年慶活動，鹿島建設株式會社副社長田代民治代表與會，讓台日兩土木界人物在此交流。

八十年前鹿島建設（前身鹿島組）曾參與日月潭水電工程，本文透過現存影像，簡單介紹鹿島組所進行的工程技術樣貌。

工區地圖

工區地圖顯現外車埕到埔里之間的交通網絡：

① 輕便鐵道（台車）是1912年從二水到埔里線開通（紅色點線）；② 集集線是1922年完工，二水到外車埕（其實應包括到門牌潭）；③ 電氣鐵道是1922年完工，從水社到東埔，支線是司馬按到鹿蒿間電氣鐵路，電氣鐵路是台灣第一條電氣化運輸工具；④ 索道有2條：外車埕到水社（紅線條）、東埔到武界；⑤ 轎道從東埔到武界供人行走及轎子走；⑥ 電話線。

作業員生活環境整備

由總督府之中央研究所森下薰技師實地調查，首先提出作業員生活環境之預防策略，包括工事現場茅草竹木之伐採燒毀，工區進行燃燒三天三夜；窗戶設防蚊網；成立賣店、娛樂設施安裝，有日本、朝鮮、

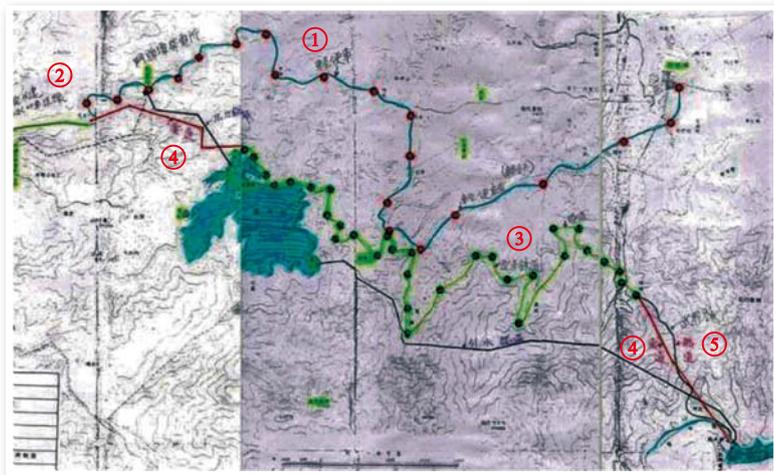


（右起）台大陳清泉教授、鹿島建設副社長田代民治及夫人、鹿島建設台灣分公司總經理出浦昇。（李文彬組長攝）

台灣料理店；設置鹿島神社；成立直營病院兩所安排醫療班。衛生關係由醫學博士河邊國太郎擔任，保安關係是工作安全，酒保關係是有賣酒的「福利社」，計理關係是會計部門。直營病院是一種「修理工廠」，只是其對象是「人」，而且是兩所，還有瘧蚊防遏所。

修理工廠

鹿島組建立了能隨時工作的修理工廠，依照新的技術規範買進馬達65台、抽水機25台、捲揚機46台、鑿岩機130台，新設木材加工工場等。



工區地圖

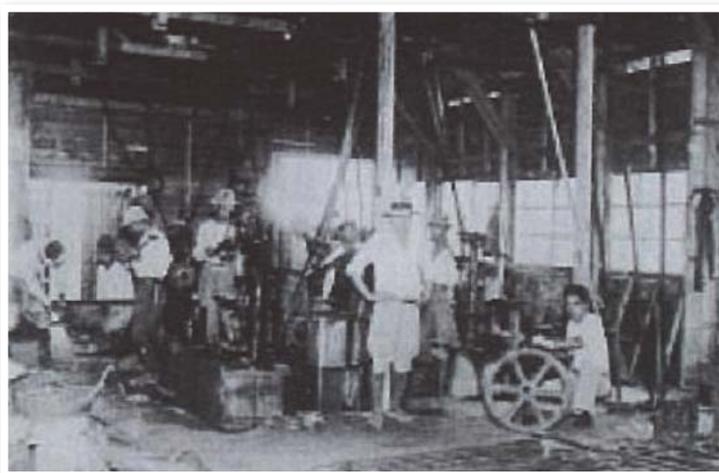


鹿島組武界診所

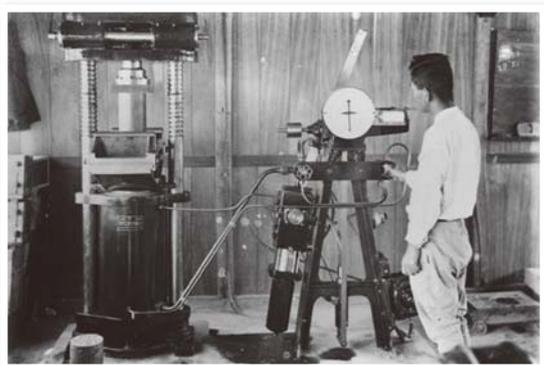


武界ラヤリ防退事務所

作業員生活環境



修理工廠



土木試驗室

土木試驗室

土木試驗室係為了水泥、混凝土、骨材、粘土及其他土木有關調查試驗。試驗室設在司馬按建設所內，係亞鉛片建的平房一棟，占地 40 坪，有粘土試驗室、作業室、養生室等。這是業主為確保工程品質而設立，由業主進行品質管控。

粘土試驗室：6 坪寬，為日月潭貯水池水社及頭社壩用粘土有關試驗。其設備有淘汰分析儀、化學天平、輕重天平、比重儀、粘土用比重瓶、水泥及砂比重儀、白金坩鍋、顯微鏡、馬錶、蒸發皿、瓦斯發生器、粘土收縮試驗儀、試管、標本瓶等。

作業室：20 坪。主要為水泥、混凝土、骨材有關試驗工作。有百噸耐壓試驗機、水泥砂漿電動混合機、二聯式標準電動鐵鎚機、高溫電爐。

養生室：8坪。水槽長12尺、寬3尺5寸、深2尺有2個，另一為長10尺、寬6尺。混凝土試體在此養生。

日月潭工事的混凝土配比皆標示1：2：4，1：2：5，而未標示強度。當我看到寫真上的日本工業合資會社製混凝土壓驗機時，可看到當時的工業日本化精神。這套設備，戰後是由土木處所擁有，陳耀輝就用這做飛灰混凝土實驗。

千卓萬工區的概況

在濁水溪旁的河岸建築密集的事務所及宿舍，相當驚人。濁水溪的砂石是無法用於武界壩，在半山腰依山勢興建碎石工廠，以確保混凝土骨材之品質。

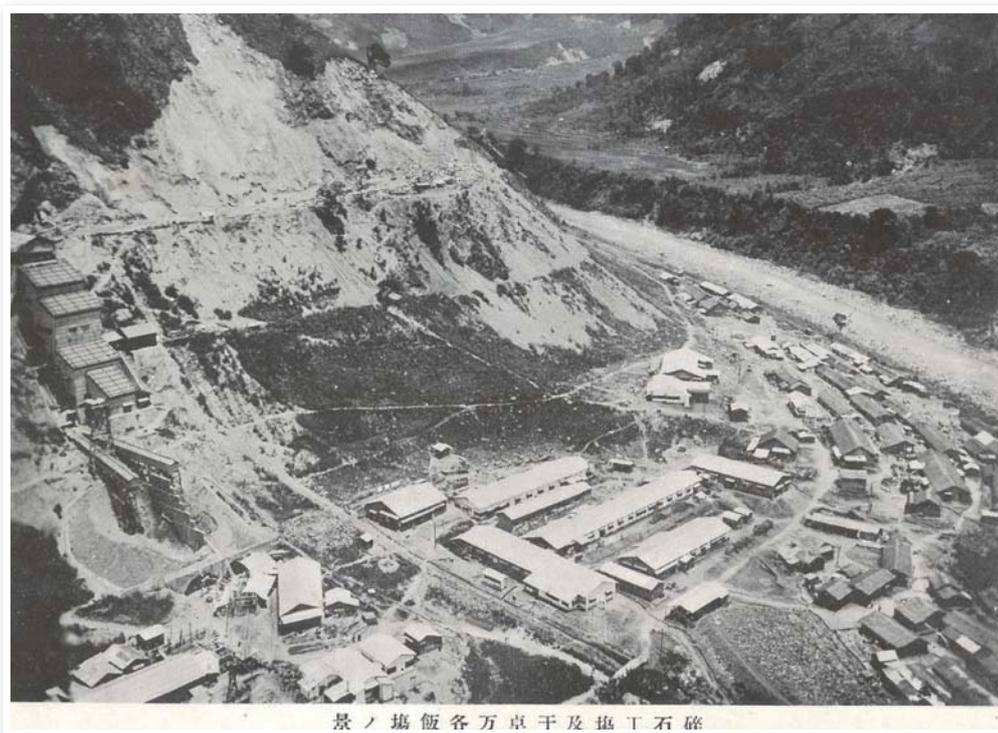
武界碎石工場，位於作業隧道對岸的山麓，武界工地附近找不到一處平坦的地方可供設工場，工場依山而蓋，屋頂有五層，此處電動機總馬力數290 HP，生產能力一晝夜可壓碎270立方公尺，粗骨材240立方公尺，細骨材138立方公尺。從碎石場上部石山採取原石，從工場最上部投入原石，下有三台碎石機，由一對的double trumgel圓筒形篩洗，將砂、粗骨材篩分成4種尺寸骨材，並依不同斜槽溜出。其中砂的原石經製砂機

落下，而較大骨材由吊桶升降機吊至碎石機。經製砂機出來有一對single trumgel篩洗，砂送至貯存場，較粗者經其下粉碎機，直至完全粉碎為止。在製成所需尺寸的粗骨材、細骨材後經帶式輸送機送至貯存場。貯存場下方即安全索道，骨材經索道送至混凝土拌合場。武界碎石工場所供應武界堰堤、取水口、洪水路、第1號隧道、第2號隧道等結構物用，混凝土總數量為156,000立方公尺。碎石工場於1932年元月末試運轉，總工程費15.6萬元，是當時日本最大最先進的碎石工場。

碎石工場

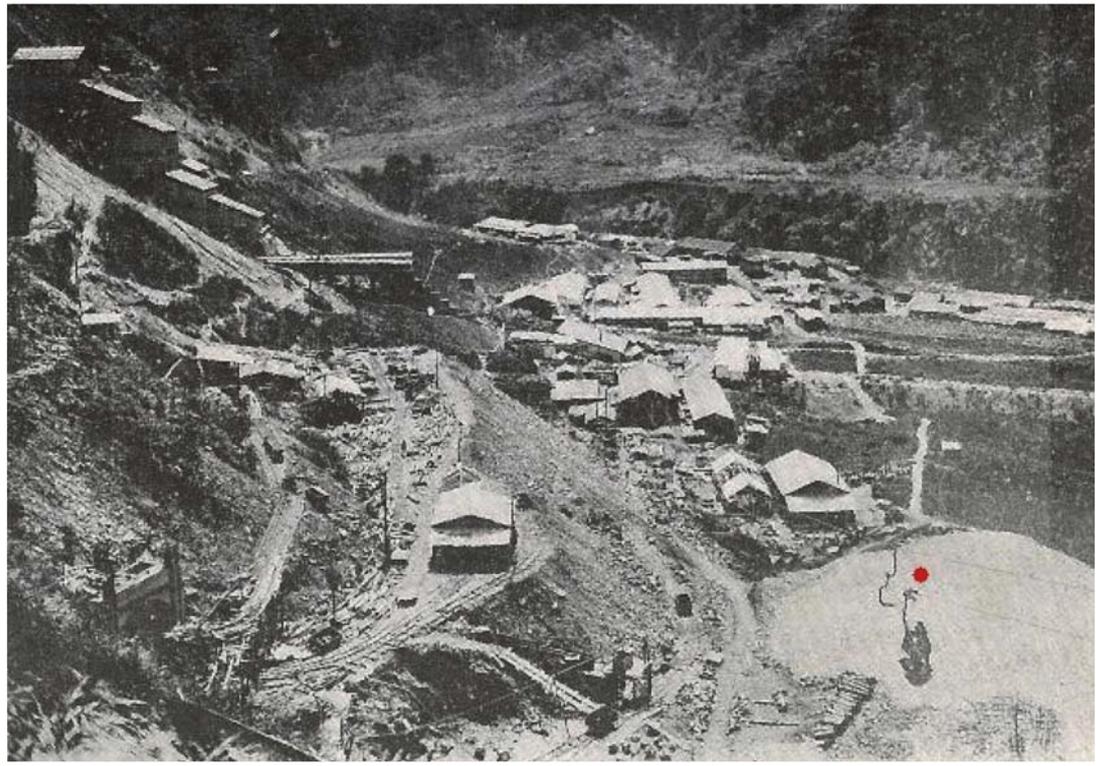
武界進水口挖掘、索道上掛著吊筒（裝運混凝土骨材）、隧道挖出來棄渣就放在未來的水庫。

武界堰堤混凝土總量105,740立方公尺，依其使用場合而配比有1：2：4，1：2.5：5，1：3：6及1：3：6玉石入混凝土（20%玉石，玉石即塊石），壩頂部40尺有鋼筋。混凝土有半數是玉石混凝土，玉石是從掘鑿岩石中良質者或附近河床採集。混凝土會使用水泥，根據當時世界各地的技術資料可知本工程會摻用火山灰，未見對混凝土中之水泥材料加以說明，也不知有無用冰水來拌合？



景ノ場飯各万卓干及掘丁石碎

千卓萬工區



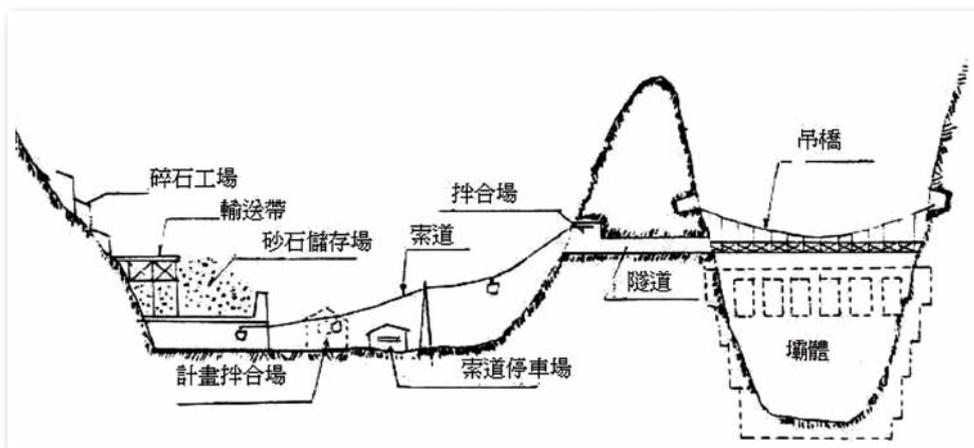
武界碎石場

武界堰堤混凝土生產與澆置

武界堰堤正上方，離河床 200 尺高架設吊橋，吊橋的一端是作業隧道的出口，武界混凝土生產略圖（如下）。將混凝土拌合場設在作業隧道內（原計畫不在此），然後用傾卸車將混凝土運上吊橋，倒入橋下的斜槽來澆置混凝土，1933 年 4 月吊橋完成後，混凝土作業能率增進，一日澆置 360 立方公尺，同年 11 月創下 1 個月澆置 7,990 立方公尺之記錄。本工程將山岩粉碎以製細骨材，惟仍不足應付，將良質山砂洗滌使用。

武界堰堤高 130 尺，上有溢流堰高 30 尺，裝有 6 門溢流閘門，橋上裝有水門。捲揚機有 25 馬力電動機，鋼製閘門一付重約 60 噸，捲揚機可使閘門 1 分鐘開啟 1 尺 5 寸。洪水路安裝同樣大小閘門 5 付，可以應付少有的大洪水 21 萬 6 千個流量。堰堤動用了 30 萬人力的汗水才得以完成當時少有的大壩。

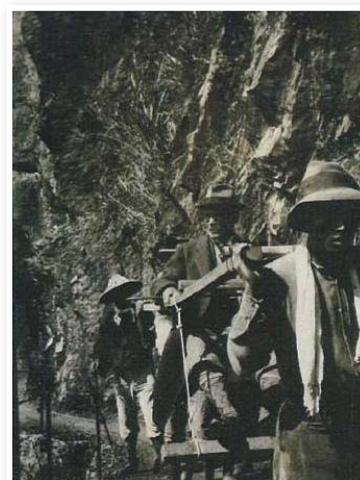
1932 年 8 月下旬，堰堤護岸的基礎開鑿中，有 3 萬個水量的洪水來襲，僅 10 多小時，濁水溪黑色土砂約 9,600 立方公尺，將已開挖部份埋沒，費了半個月以上時間才清理完。



武界混凝土生產略圖



傾卸車將混凝土運上吊橋後倒入橋下的斜槽來澆置混凝土

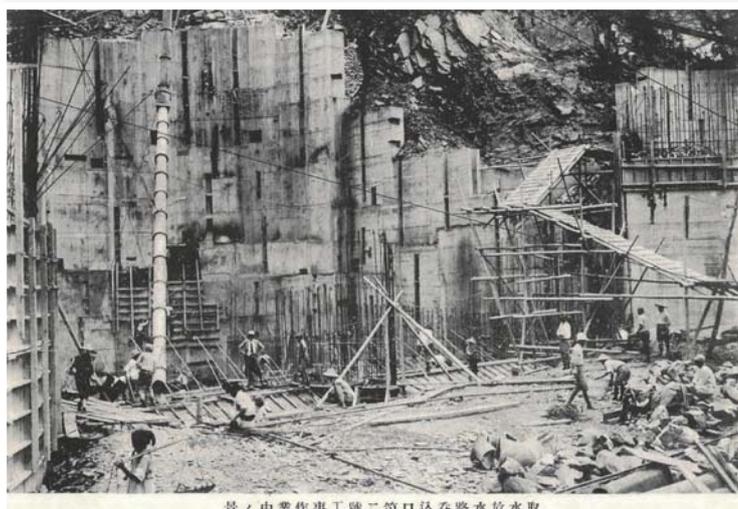


鹿島組取締役永淵清介坐轎赴武界勘查

日月潭水電工事之其他第一

水電工事在科技競爭的年代，經常是使用最新設備，不能在竣工後，變成退流行。而且，台電也勇於使用新工法，以縮短工期。

1. 噴水泥砂漿：鋼管坡度最陡 32 度，平均 39 度 7 分。鋼管安裝後全路面鋪鐵絲網混凝土，坡度陡的岩面，鋪混凝土及噴水泥砂漿（shotcrete）以防表面風化崩落。從這段記錄可見，噴凝土早在 1934 年就在台灣運用。
2. 平壓塔採用建設部長新井榮吉博士考究而成的改良型新井式水室平壓塔。
3. 發電送電工事：當時預計 10 萬 KW 出力，每部機出力 1 萬 KW，共有 10 部機。發電機電壓 11 KV 升壓至 111 KV 再送出。會社創立後，改成單機 2 萬 KW 出力，共 5 部機，有將來增設 1 部機的計畫。當時日本單機最大發電容量 5,000 KW，送電電壓 111 KV。日月潭水力發電電量 4 成送北部，6 成送南部，送電電壓 111 KV（當時日本最高），但台電成立後，送電電壓改為 154 KV（當時美國最高電壓），送電容量是日月潭第一發電所 10 萬 KW 以及第二發電所 4 萬 5 千 KW。



景ノ中業作事工號二第口込存路水放水取
在進水口與排洪口的混凝土澆置



說明 鑿岩機鑽孔、安裝炸藥爆破、出渣等循環進行
景實業作穴穿鑿切ノ尺三三三三ノ坑橋平下隧道號四第坑鑿

八十年發電運轉後之省思

本人退休當年應邀參加「數位人文關懷希望工作隊」（請詳筆者北投埔 blog），我主要的任務是提供萬大與武界兩電氣工事的歷史（其餘都非我所能）。其中有兩個專題：一、曲冰部落的前世今生（紀錄布農族在當地的遷徙與文化變遷）；二、萬大電廠的昨日、今日、明日（了解電廠在當地的影響）都與台灣電力有關。於 1919 創立的台灣電力株式會社就是要興建『日月潭水力電氣工事』，以及 1938 年開始的『萬大霧社發電計畫』。

武界水庫的施工及蓄水需要遷徙住民。同樣的，萬大霧社發電計畫也一樣為了施工以及蓄水得將住民遷徙。當時在那地區能住的地其實不多。

做這樣的工程一定會遇到濁水溪河川沖刷嚴重的問題。大部分人沒有從歷史面去考察濁水溪是怎樣活躍的溪流。這幾年沖刷日益嚴重，主要是 921 地震及人為開闢道路，讓土石更容易流失。

「數位人文關懷希望工作隊」的北一女高一美少女們見到堆積如山的土石，再加上訪問住民，發現住民幾乎快活不下去，同情之心油然而生。學生們日後進入社會，她們的田野調查對她們的認知影響很大。

本人時常帶朋友做「日月潭水力發電歷史建築見學」活動。曾經有一次，在武界壩控制室未更新前，在控制室內看到武界壩內無水正在清理之寫真。日月潭水力發電完工後，台灣都處在「渴電狀態」，何時能停機進行壩內清理的工作？歷史上曾經有過一次。那應該是發電機或變壓器之線圈重繞之時。

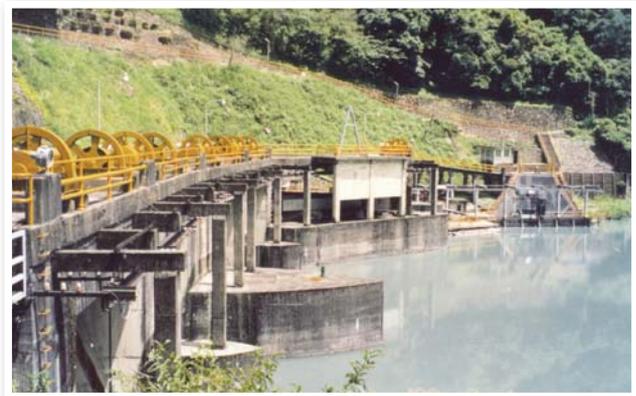
濁水溪堆積如山的土石要如何解決？如何能讓日月潭水力發電再創新的八十年？這是在慶祝發電 80 週年後，應該有的技術省思。

參考文獻

1. 台灣電力株式會社《日月潭水力電氣工事誌》（打字稿）1934 年，第 672 頁。
2. 藤崎濟之助《台灣電力株式會社沿革史》（手寫稿）1937 年 3 月，第 1300 頁。
3. 台灣電氣協會《台灣電氣協會會報》『日月潭水力電氣工事施工に就て』第 6 號 1934 年 11 月，第 37 頁。



武界壩



武界進口水口及排洪隧道

4. 台灣電氣協會《台灣電氣協會會報》『竣工せる日月潭水力發電工事』第 6 號 1934 年 11 月，第 41 頁。
5. 台灣電氣協會《台灣電氣協會會報》『竣工せる日月潭送電氣線路並に變電所工事』第 6 號 1934 年 11 月，第 64 頁。
6. 小田晶子《鹿島の軌跡》第 8 回，『日月潭』，第 1~7 頁。（鹿島建設總務部本社資料センター）

恭喜！

本學會 103 年文化認證之評選結果：
獲得「國家級土木文化資產」榮譽者有兩處：

日月潭水力發電系統
烏山頭水庫及嘉南大圳灌排系統

103 年 12 月 6 日年會中將予以頒證及表揚。當天下午設有「土木與文化資產論壇」，將發表更多文史資料，歡迎各界踴躍參加！