DOI: 10.6653/MoCICHE.201902_46(1).0006

# 日據初期的台灣河川治水事業與土木技師十川嘉太郎的貢獻

簡佑丞／日本東京大學工學 博士、日本國立文化財機構東京文化財研究所 客員研究員

本文為日據初期台灣近代河川治水史基礎研究的一環，藉由收集與整理有關日治時期之河川治水文獻史料，以及現場田野的輔助調查加以分析、比對，以台灣總督府技師十川嘉太郎之治水技術的理念與實務經驗為中心將台灣日據初期有關河川治水的工程、技術、思想作一系統性的整理與分析，以期釐清日據初期台灣河川治水的歷史與發展脈絡，以及確立日後日據中期與末期台灣總督府執行全台河川治水事業計畫思想與政策方向的重要性。

## 前言

台灣為一南北長、東西窄的狹長高山島嶼，如此的地形造就了台灣河川流域短、坡度陡的特色，加上雨季時之日降雨量達 1,030 mm，因此每遇豪雨即造成河川沿岸平原地帶嚴重的風水災害。

過去台灣在清朝統治（1683 ~ 1895）期間，由於無暇顧及河川治水事務，使得台灣河川仍呈現極為原始的亂流狀態。到了日本據台初期，由於各地局勢尚未穩定，加上當時台灣總督府正投注鉅額經費於台灣南北縱貫鐵路及基隆建港等重大的土木公共基礎建設，使得台灣總督府仍無暇顧及河川治水方面的問題，僅能針對水害較嚴重的河川施行局部救急性工事與附帶之河川初步調查作業。

## 日據初期的水患災害與全台河川調查事業的展開

### 臨時性局部性的堤防修繕工程

1910 年 9 月及隔年 8 月，台灣全島連續遭受兩次強烈暴風雨侵襲，造成全台各地包括家屋建物、道路橋梁、鐵路及農田耕地皆慘遭浸水流失的命運，成為台灣數十年來規模最大的風水災害。由於被害嚴重，使得總督府隨即投入眾多的人力、物力展開各災區內之河川堤防救急工事與設施復舊事業 。

而在此全台河川風水害復舊工事中可以濁水溪、下淡水溪（今高屏溪）與大安溪的治水工事為其代表，並由台灣總督府技師十川嘉太郎全權負責工事設計與施工。其中發源自中央山脈、主流全長 169 公里的台灣第一大河川濁水溪，由於河床土砂堆積嚴重，至使洪水來襲之際經常使其河川改道而四處氾濫，造成沿岸土地缺潰流失、損害嚴重。為避免河川繼續侵害，十川技師於水害最甚的濁水庄、林內庄間之鐵路橋附近築造鐵線蛇籠堤，並採用其「凹岸引導」理論，於鐵路橋上游之八堡圳取水口築造石砌堤防與蛇籠丁壩以防止取水口遭水流沖刷與土砂淤積。

另位於台灣南部高雄州下的下淡水溪亦經常發生水患。十川首先於 1911 年於該溪上游旗山之楠梓仙溪岸築設護岸及混凝土塊丁壩工，以導引水流並減緩河岸遭受洪水侵害。到了 1912 年，由於該溪六塊厝及九曲堂間寬約 4 公里的河川兩岸佈滿種植甘蔗田的沙洲，每逢豪雨這些甘蔗田便隨沙洲消逝在洪流當中損

失慘重，加上此時總督府鐵道部正施行縱貫鐵路下淡水溪鐵橋架設工程，為保護鐵橋及甘蔗田免受洪水侵害，總督府土木局便命十川嘉太郎著手該河川治水工程。

十川在參考「國際航運協會」期刊後，根據其內文提及關於在河岸側打設混凝土基樁並於其間連結數條橫木柵，除可匡正河川水流並能使流砂進入於樁柵內沉積保護堤趾的河川改修案例後，認為該創新治水工法可運用於下淡水溪治水工程中，於是便立即採行。據十川的設計，其沿武洛溪側與鐵路線並行，打設長 1,152 公尺的鐵筋混凝土樁，接著於樁頭與樁頭間設置竹柵，同時於洪水衝擊處築造長約 4 公里的蛇籠堤，並於其堤底打設長約 6 米的鐵筋混凝土樁以穩固堤趾，完工後除可保護鐵路橋墩，同時可獲得約 1 千甲的新生土地，使甘蔗收成獲利達到施工前的三倍，可謂效益顯著（圖 1 和圖 2）。

圖 1　下淡水溪鐵筋混凝土樁堤一景（《台灣に於ける鐵筋混凝土構造物寫真帖》1914 年）

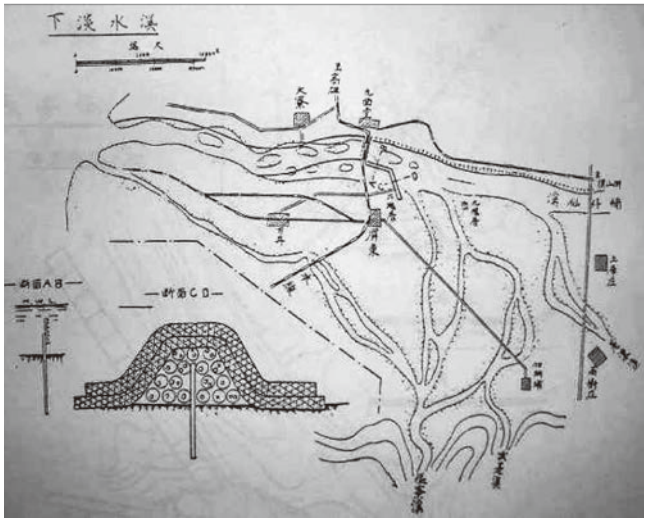


圖 2　下淡水溪災害復舊工事平面圖及鐵筋混凝土樁、蛇籠堤設計略圖（《顧台》1936 年）

## 全台九大河川調查事業的施行

另一方面，頻繁的風水災害亦讓台灣總督府不得不正視河川治水的急迫性與重要性，使得根本而全面性的河川治水事業計畫成為其勢在必行的重要施行項目。有鑒於此，就在各災區內之河川堤防應急工事與設施復舊事業正如火如荼進行之時，總督府基於台灣全島大洪水的慘痛經驗開始擴大河川調查的規模與範圍，自 1912 年度起連續五年，從事濁水溪、下淡水溪、宜蘭濁水溪（今蘭陽溪）、大安溪、大甲溪、烏溪、後壠溪（今後龍溪）、頭前溪、淡水河等九大河川的詳細調查作業，更於同年 7 月成立「台灣總督府河川調查委員會」，針對全台河川作通盤的檢討與改修整治計畫。

## 台北淡水河「輪中治水」計畫

此外，台灣總督府為防衛大台北統治中心免受洪水侵襲，亦準備著手施行台北淡水河流域之治水計畫事業。由於台北三市街（城內、大稻埕、艋舺）北有基隆河、西濱淡水河、南臨新店溪，被河川三面圍繞，一但遇上暴風雨，此三河川之洪水位便高過台北之河岸道路，洪水氾濫至台北市街內造成嚴重水害，雖然早在 1898 年及次年度已於淡水河築設大稻埕砌石護岸，仍無法解決層出不窮的水患。

由於台北市街三面為淡水河水系環繞的地理特徵與輪中發達之日本木曾三川流域地區相仿，因此幾經分析與研究，十川嘉太郎等總督府技師均建議可仿效日本歧阜縣傳統之輪中大垣治水案例，應用於台北淡水河流域治水計畫。其為自古亭庄經艋舺沿岸，沿著大稻程再繞過劍潭經三板橋至東門附近為止，築造防洪擁壁圍堤包圍台北市街，使其成為一防水區域（輪中），此外為便利堤內、堤外之通行與排水需求另於擁壁圍堤設置水門，平時開啟，若遇洪水來襲則關閉水門遮蔽洪水（圖 3）。

台灣總督府根據此一計畫率先於 1913 年度起著手遭受洪水威脅最大之艋舺至大稻埕沿岸的擁壁堤防築造工程。更於 1914 年度及 1918 年度沿新店溪上游築設長約 7.68 公里的土堤，使台北市街的輪中治水計畫初具規模（圖 4 和圖 5）。

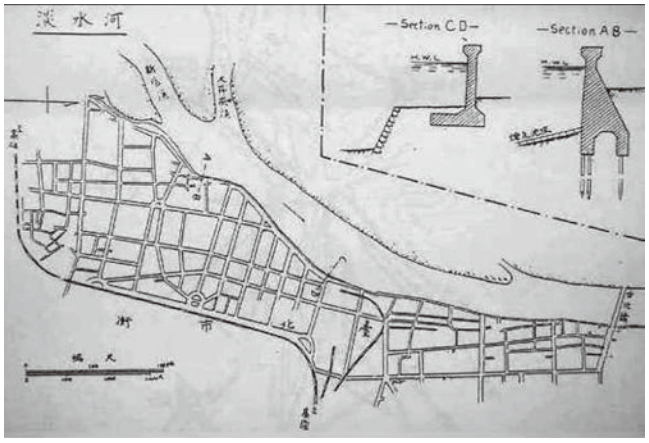


圖 3　淡水河輪中擁壁堤防計畫圖及擁壁堤防設計圖（《顧台》1936 年）

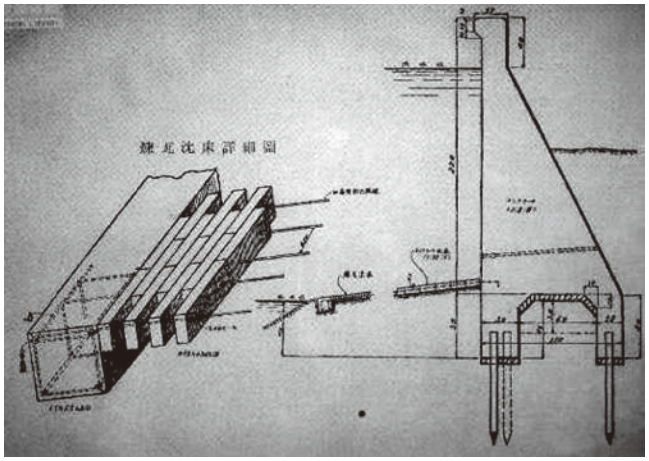

圖 4　淡水河鐵筋混凝土擁壁堤防及串磚沉床設計圖（《台灣の水利》1936 年）

圖 5　淡水河堤防串磚沉床工程施工（《台灣に於ける鐵筋混凝土構造物寫真帖》1914 年）

## 十川嘉太郎對於台灣河川治水理論與技術的研究

### 台灣近代水利技術者：十川嘉太郎

就在河川調查及風水害復舊工事施行期間，擔任河川調查委員會委員的土木水利技師群亦參考國內外治水文獻案例以及利用河川調查資料與復舊工事之施行經驗，同時展開河川治水相關的技術調查研究。當中又以時任台灣總督府土木技師的十川嘉太郎對於台灣近代的河川治水理論研究與工程技術實務方面具有極大貢獻。

日本山口縣士族（武士階級）出身的十川嘉太郎於 1887 年進入位於北海道的札幌農學校（今北海道大學）工學科就讀，師從有日本港灣（水利）及鋼筋混凝土工學之父稱號的廣井勇，學習當時剛開始發展不久的近代土木港灣水利工程與鋼筋混凝土理論技術。最初由日本明治新政府為開發北海道而以美國麻州農業大學（今麻州大學阿莫斯特分校）為範本設立的札幌農學校，是當時日本唯二的高等教育學府（另一所為東京大學前身的帝國大學），培養許多日本近代農業與土木工程之高等專業人才，例如前述日本近代港灣水利工程之父的廣井勇，主導台灣農業及糖業發展的新渡戶稻造，以及十川的同班同學，同樣在北海道的河川水利工程具有傑出成就與貢獻的岡崎文吉等。

1892 年自札幌農學校畢業後的十川嘉太郎首先任職於北海道廳技手，跟著他的老師廣井勇從事北海道函館建港與函館市近代自來水事業的興建工程。由於其具有當時最先進土木工程技術之稱的港灣水利與鋼筋混凝土技術專業知識與實務經驗的背景，不久後旋即被台灣總督府聘為土木技師，借重其長才投入當時的基隆港大規模建港事業，同時跟隨總督府土木水利工程專才的前輩技師如德見常雄、清水一德等人從事全台的水利灌溉事業工程。並在爾後陸續主導台北自來水水源地、瑠公圳鋼筋混凝土過水橋，以及莿仔埤圳與獅仔頭圳等港灣、水利灌溉興建工程。

經過上述於全台各地從事多項水利工程規劃設計與工程實務的磨練與經驗成果的累積，十川嘉太郎開始被賦予台灣各地逐漸頻發的河川洪水災害的局部性堤防修建工作以及台北萬華至大稻埕間的鋼筋混凝土擁壁圍堤興建工程之責，並擔任全台河川治水調查事業的主要成員，從事河川治水的調查研究工作。也因此，讓十川開始研究與理解台灣河川的特性與問題，並從中思考與嘗試適合台灣的河川治水理論與應用方法。

## 水理學計算的修正

如前所述，就在河川調查及水害復舊工事施行期間，擔任河川調查委員會委員的土木技師群亦參考國內外治水文獻案例以及利用河川調查資料與復舊工事之施行經驗，同時展開河川治水相關的技術調查研究。根據河川調查資料及與日本內地及歐美河川的比較可知，台灣的降雨量多偏於夏季，年降雨量分布極不平均，加上集水區域及河川流域面積狹小，使得雨水過早進入河川，造成台灣河川每逢暴雨之洪水量特多。此外，由於台灣河川坡度甚陡且彎曲，使其含砂量極高，可謂特異於世界上其他之河川，故其河川治水改修方法並不能直接套用歐美使用的水理計算式，而必須研究一套適合台灣河川本身的水理學理論及發展新的治水工法才能徹底解決水患。

為此，時任河川調查委員會委員之一的十川嘉太郎技師開始著手台灣河川治水的工程技術加以研究與試驗。首先，十川技師針對治水調查所使用的水理計算理論方法提出質疑，他認為總督府採用歐美慣用之調查計算方法並不適當，例如在流量調查之水理計算方面，其採用 Bazin 法與 Kutter 法兩種流體力學運動方程式來計算河川流量，但這兩種理論公式是根據蘇格蘭的泰河（River Tay）、北美的密西西比河（Mississippi River）、俄羅斯的窩瓦河（Volga River）、法國的隆河（Rhone River）等河川經過長期觀察歸納而得到的經驗公式，其中 Kutter 法的觀測實驗地坡度皆在 1/10000 以下而多用於運河工程；至於 Bazin 法的河川坡度則為 1/1000，雖可適用於一般的河川工程，但因台灣河川的性質迥異於世界其他之河川，因此仍必須經由多年的經驗與調察，進而修正上述經驗公式的變因係數後，才能適用於台灣的河川。

## 「凹岸引導」之水流導引理論

此外在經過數年之河川自然狀態觀查與研究，十川發現台灣的河川水流自高聳的中央山脈溪谷流出後，因天然河道狹窄曲折，使得龐大的水流左右均受到限制無法正常宣洩，造成強勁的水力不斷沖刷河岸之凹岸部分，另一方面，河川中的飽和砂礫則在水流較弱的凸岸漸漸沉積，如此不斷的沖刷與堆積，使得河道與水流方向開始逐漸改變，容易掏空河川凹岸面的堤防、護岸基礎，遇到雨季來臨則嚴重威脅該岸居民的生命財產安全。因此十川技師參考法國隆河上游採用兩岸設置水制工（丁壩），將含砂量高且水勢強勁的水流導引至河川中央以順利宣洩水流的方法（圖 6），經過改良研究後提出所謂「凹岸引導」的水流導引理論。

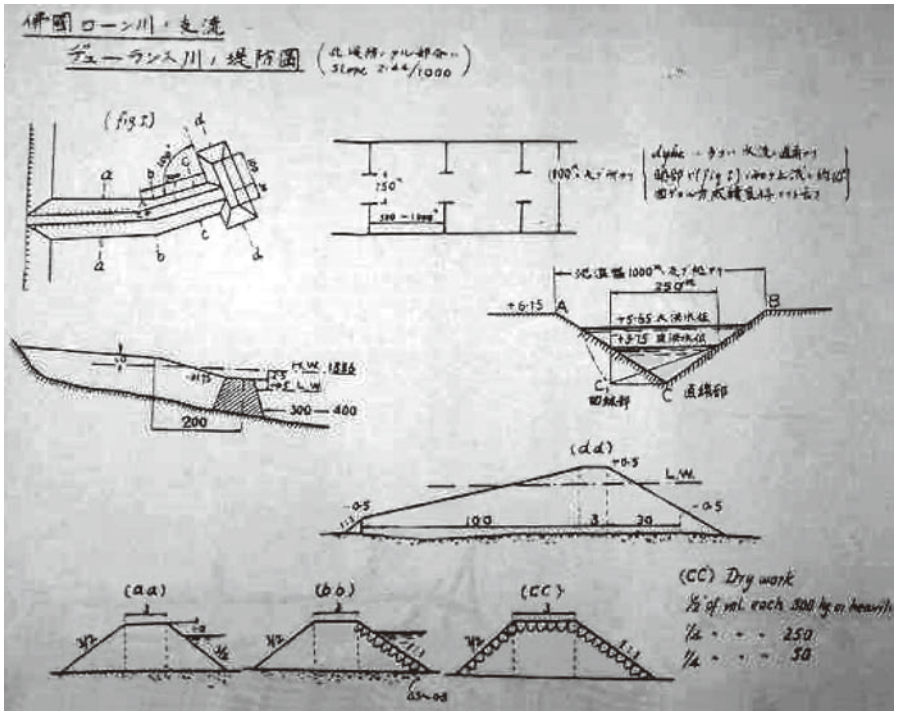


圖 6　法國隆河支流堤防丁壩圖（《顧台》1936 年）

該水流導引理論為十川針對台灣河川凹岸部分的水流狀態進行深入分析與研究，發現具有相當流速的水流才能對凹岸部產生衝突侵蝕的效果，所以十川根據上述觀察與研究分析後建議在河川凹岸處設置堅固的新月形水制，形成水流之緩衝地帶以減緩水流沖擊，並導引急流至河川中央以保護易受侵蝕的岸腹，如此設計除能減緩凹岸的侵蝕亦能同時避免凸岸的沉砂堆積，且使得設置於河川凹岸部之用水取入口不易遭到洪水破壞與沉砂淤積。其後十川為證明自己的理論可行，遂利用 1911 年施行之高雄州蕃薯寮街（今旗山區）之堤防護岸災害復舊工程中首度嘗試，成效極佳（圖 7），此後該理論工法又陸續於大安溪鐵路橋下游及后里圳取入水門岸邊、濁水溪之災害復舊及治水工事中施行。

## 不連續堤防「霞堤」系統

除「凹岸引導」水流導引理論外，十川嘉太郎亦對河川堤防之設置方法提出論點。河川堤防主要為限制河川流域面積、維持一定的河身寬度，並防止洪水任意漫流、淹沒田園土地的河工構造物，自古以來即為重要的治水設施。然而，若河川兩側全部築設連續不斷的堤防後，由於限制了流域的寬度，極易造成堤內河床沉澱物堆積，使得河床不斷升高，而防禦洪水的堤防亦逐漸失去其功能，只能不停加高堤防或任由河水氾濫，十川舉出過去荷蘭的萊茵河堤防治水工程即為極佳的參考案例。

荷蘭位居萊茵河下游，地勢低窪、水害眾多，其過去之治水工程並未注重河身改修及河床淤沙整理工程，僅一味的築設連續堤防及增加堤防高度來防禦因河床增高而不斷發生的洪水，結果卻屢次遭洪水破堤與侵害，因此荷蘭政府一改過去的築堤工程，轉而著手實施全面的河川整理改修與淤沙浚渫工程，達到全盤治水防洪的目標。

根據上述案例十川了解要在土砂淤積更嚴重的台灣河川築設堤防，河床排砂問題更顯重要，必須設法解決，遂轉而研究日本本土傳統治水工法尋求解答。十川參考德川幕府時代的常願寺川治水事業，該治水工程為避免築堤後常造成河床沉澱物堆積，特別採用具有不連續開口部的「霞堤」形式設置堤防，讓飽含泥砂的洪水能藉由上游堤與下游堤重疊部分所造成之逆向開口向堤外宣洩溢流，除可減輕河川淤積問題，更讓堤外耕地獲得肥沃的土壤。此種堤防形式最早出現於日本戰國時代末期的甲斐國，由名將武田信玄首度於富士川上游的釜無川治水事業中施行，自此之後逐漸成為德川時代各藩廣泛使用的治水策略。於是十川便據此提出在台灣河川之堤防築造與新河線設置之際，須避免一味採用河川兩岸全部設置連續堤防的堤防築設方法，而應於易受洪水侵蝕的河岸築造擁壁護岸以保護沿岸土地及防禦洪水，以及於河川沿岸部採用具開口部之霞堤築設方式才是適台灣的良好治水策略（圖 8）。

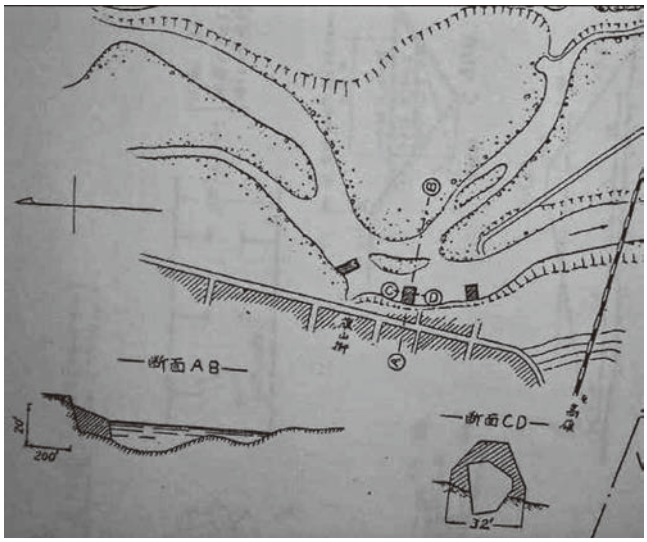


圖 7　高雄州蕃薯寮街（今旗山區）凹岸堤防護岸丁壩配置及構造物設計圖（《顧台》1936 年）

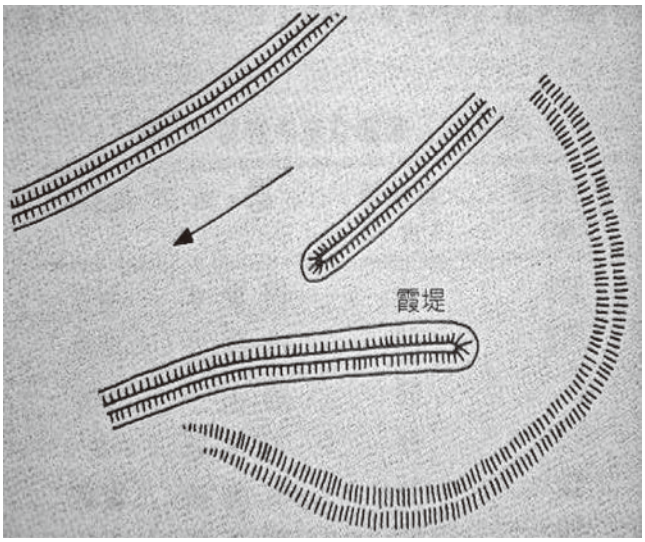


圖 8　霞堤之構造形式圖（《國造りの歷史 中部の土木史》1988 年）

## 「串磚沉床」與「鐵線蛇籠」堤防構法

除了治水理論與方法外，十川尚提出關於堤防構造與材料的看法。他認為如果在坡度陡急的河川設置堤防，則湍急水流的強烈牽引力勢必對堤防表面造成一定侵害，因此增強堤防表面的抵抗力實屬必要。若在一般坡度緩和的河川僅需使用普通大卵石來砌造堤防即可，但假設河床坡度達到 25％甚至 30％時其水流會變得極為強勁，足可沖刷並移動直徑約 40 公分的大卵石，易造成一般石砌堤防嚴重破壞。

故十川技師認為可於石堤築造後再於其上順著堤防斷面方向披掛長條形之龜甲網「鐵線蛇籠」以強固堤防表面，更可延伸該蛇籠至河床成為蛇籠丁壩堤，以保護堤防基礎免於水流沖刷破壞。此外，由於十川認為龜甲網鐵線蛇籠為抵抗急流之最佳耐久構材與治水工法，因此其同時建議可於台灣之急流處或取水口處皆改採鐵線蛇籠堤方式築設，可達到極佳之防洪效果。其後台灣之治水工事果真築設大量的鐵線蛇籠堤防且成效卓著，使得台灣之鐵線蛇籠堤應用遠較日本本土更為普遍與發達。

另外，十川對於防止新設堤防之水流滲透及基礎保護的問題亦特別重視。其認為一般台灣河川之含砂量甚多，因此在流經堤防時水中土砂會自然充填石造堤防空隙，達到防止堤防滲漏及防止堤基沖刷的效果，並不需特別深入考究，但在水流速度緩和之下游處，因細砂不易填滿堤防空隙，加上下游處之河床土砂層較不穩定，故可於石砌堤防表面下部覆蓋一層「串磚沉床」並延伸至堤底基礎，作為防止水流滲透及保護堤基的工法。

所謂「串磚沉床」工法據十川嘉太郎所述，其屬於一種撓屈性的沉床形式，亦為早先混凝土與燒陶沉床的變形。原混凝土與燒陶沉床為利用兩條金屬線將各混凝土塊或燒陶塊相互串連而成的治水工法，於 1890 年在義大利的波河（Po River）治水工程中首度被採用，並逐漸推展至埃及的尼羅河及英國的泰河獲得極佳成效（圖 9）。

之後法國亦在 1908 年由上議院議員「デカウュール」氏將其改良成以蒸氣機械力製作且為可撓性之混凝土灰泥沉床，稱為「デカウュール式沉床」，到了隔年日本治水工程師岡崎文吉也於北海道石狩川的堤防工事中改良該工法並將鐵板與混凝土塊合為一體發展出「北海道式沉床」工法（請參閱圖 10）。而十川所發明之串磚沉床則仿效混凝土與燒陶沉床的形式改以普通紅磚代替混凝土與燒陶，並於其平面鑿兩孔再用八號鐵線將紅磚相互串連接合而成，除同樣適用地盤軟弱、土砂細小的河域外更適合台灣現地使用（圖 4 和圖 5）。其理由如下：

(1) 煉瓦材相對比較廉價。
(2) 台灣製磚工廠普及磚材取得容易。
(3) 比起混凝土或燒陶，紅磚具更佳撓屈度。
(4) 台灣無結冰問題不需擔憂紅磚表面因熱漲冷縮而剝落。

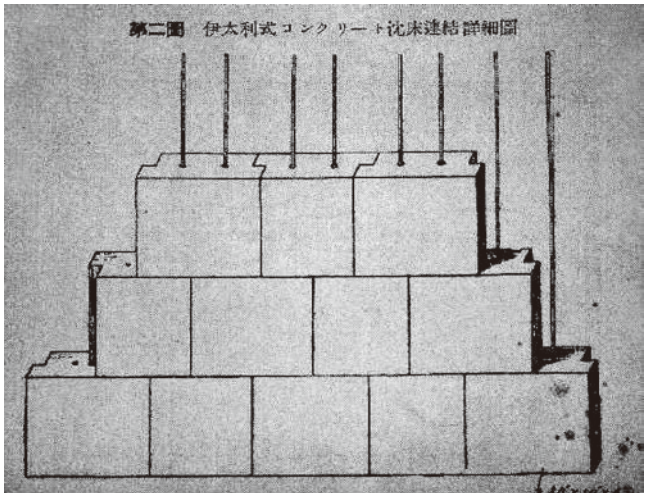


圖 9　義大利混凝土沉床圖（《台灣の水利》1936 年）

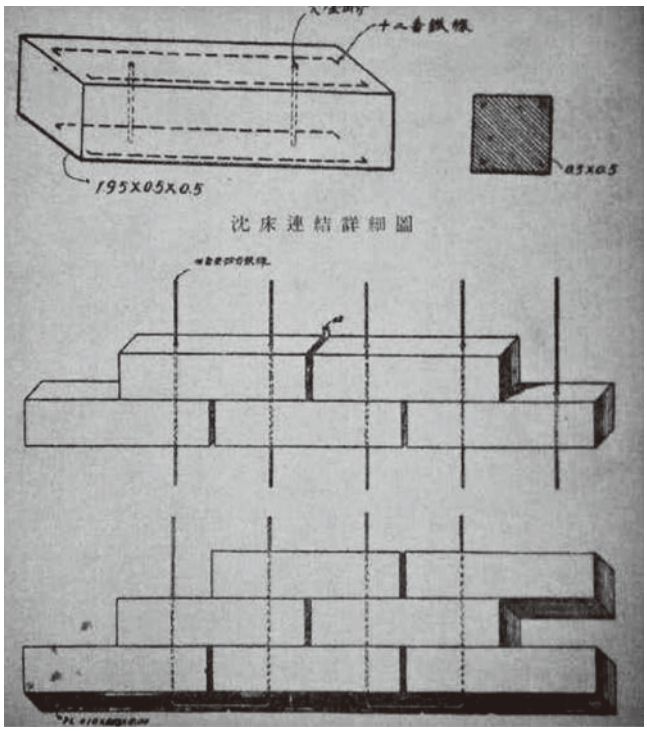


圖 10　北海道式沉床設計圖（《台灣の水利》1936 年）

圖 11　濁水溪石砌堤防上鋪鐵線蛇籠工事築設一景（《主要工事寫真帖》1916 年左右）

圖 12　具有霞堤系統形式的宜蘭濁水溪治水工事平面圖（《台灣總督府公文類纂》冊號 11287，文號 40，1938 年）

因此綜合上述，十川認為「串磚沉床」特別適用於台灣河川。另外他亦提出關於治水工程用材料的意見，他認為台灣一般所生產的木材極易腐朽，因此其治水用材最好可使用石材、鐵筋混凝土塊及鐵線蛇籠等不易腐朽的構材，以達到耐久的目的 。

十川嘉太郎針對台灣河川之特性加以深入分析與研究，其所提出之上述種種關於治水理論、工法與材料的建議亦在往後台灣的河川治水計劃與整治工程中獲得廣泛的採納與應用，幾乎成為日後台灣總督府在全台河川治水政策與事業執行的定則，證明其河川理論與治水建議的確適用於台灣的河川治水工事並得到極佳的成效，同時亦為當時政府高層與治水專業人士的肯定，實對台灣的河川治水做出極大貢獻（圖 11 和圖 12）。

## 結論

日據時代台灣的河川治水思想與技術深受日本本土影響甚深，從淡水河流域的「輪中治水」以及全台各主要河川所築設之治水堤防幾乎以「霞堤」系統形式即可窺之一二。這得歸功於當時台灣河川治水界的靈魂人物，十川嘉太郎，這位畢業自北海道札幌農校、師承日本土木界權威廣井勇博士的台灣總督府技師。

十川對台灣河川的治水事業貢獻良多，他除了將前述「輪中治水」與「霞堤」等治水方法引介至台灣外，更在參考國外治水案例與深入研究台灣的河川性質後發明了適用於台灣河川的「凹岸引導」治水理論與「串磚沉床」治水工法，成效卓著。其並就鐵線蛇籠與混凝土方塊工法與形式的使用上提出獨到的見解，而從往後台灣的河川治水工事均採用其提出的治水思想理論與發明的治水工法就可看出其對於台灣河川治水事業具有極大貢獻。

直到現在，台灣各主要河川的堤防仍可看到其沿用日本殖民時代所建設的「霞堤」形式，而仿照「輪中治水」思想所築造的淡水河鐵筋混凝土擁壁堤防以及許多當時建設的河川堤防至今依然矗立河岸守護著沿岸的住民，讓人不禁感佩當時水利技術者的遠見與智慧。

## 參考文獻


1. 台灣總督府土木局（1924），台灣總督府土木事業概要。
2. 濱田正彥（1933），台灣河川の特色。
3. 不詳（1917），台灣治水計劃說明書。
4. 十川嘉太郎（1936），「顧台」，台灣の水利。
5. 大園市藏（1935），台灣始政四十年史。
6. 十川嘉太郎（1936），「煉瓦沉床」，台灣の水利。
7. 台灣總督府（1945），台灣統治概要。
8. 八田與一（1940），「台灣土木事業今昔」，台灣の水利。