

下水道技術者のみた旅先台湾

2017. 11. 25 中日本建設コンサルタント(株)中根 進

□ 視察旅行 □

地盤工学会中部支部設立 60 周年記念行事の一環として「土木歴史遺産を訪ねて—烏山頭ダム、白冷圳導水路等視察—」が実施され、2017. 11. 1(水)～4(土)に台湾に行ってきました。

この視察旅行は、岐阜大学八嶋厚教授を団長とした 4 名の大学の先生を含め地盤工学会の関係者 25 人が参加しました。

この旅行に対する感想を求められ、旅行したメンバーの中では変わった経歴なので、下水道技術者としての報告としました。

この旅行団への報告(地盤工学会誌投稿中)は、管診協の皆様には周知なことも多いかと思ひ、本文は、この旅行団への報告に少し加筆したものです。

□ 自己紹介 □

出発の際、中部国際空港ロビーで少し挨拶しましたが、私は、名古屋大学工学部附属土圧研究施設で中部大学の山田先生の後任として、市原松平(故人)先生のもと地震時土圧¹⁾の研究をしていました。その関係で今回の視察団のメンバーには旧知の方々が多く、気心が知れ、大学の先生方や土に接しておられる方々に新たに接することができ、お昼、夕食、夜な夜なの飲み会で大変楽しい旅になりました。

□ ホテルや昼食で立ち寄った路上でみた下水道 □

日本では、政令市に多い合流式(汚水と雨水を一つの管で下水処理場まで流下させる)や市町村の分流式(汚水と雨水)があり、旅先で見た台南市、台北市は分流式でした。

日本では下水道管には、マンホールが設けてあり、蓋を開けて維持管理の人が入坑できるようになっています。その直径は 60cm です。台湾で見かけたマンホールの蓋は、**写真 1**に汚水と

鑄出しされており、分流式であることが分かります。ただし、直径が 45cm 程度であり、入坑できないので台湾ではマンホール蓋とは呼ばないかもしれません。台南市の蓋の二つの黒いところは蓋を開けるための穴ですが、雨水が入らないようにゴム栓がしてあります。

一番左の写真はビルの店先の歩くスペース(歩廊)にあり、家庭や店の汚水を下水道本管に

台南市



台北市



写真 1 台湾のマンホール蓋

接続するための宅内排水管に付いている日本でいうます蓋と思われます。台南市、台北市のマンホール蓋は、ともに古いもののように思われますがデザイン蓋になっています。日本でも最近、デザイン蓋が多く採用され、カラフルになっています。

台南市の蓋には、台湾の花(梅)、鳥(樹に止まっているキジ:後述の李 徳河教授がキジと言っておられました)が鑄出しされ、台北市は樹木と魚になっており、自然を表しているのでしょうか。

台湾の主要都市の家庭や店が下水道に接続している割合が、WEB 上にあり、2017(中華民国 106 年)現在、**図 1**の通りです。



図 1 台湾の下水道普及率 (May 09, 2017)

□ 烏山頭ダム : 台南 (2017. 11. 02) □

国立成功大学の李 徳河教授に案内していただき、烏山頭ダムを見てきました。



烏山頭ダムは、台南の平野部を灌漑するために、台湾総督府(日本)が 1920 年 1 月から 10 年あまりの歳月を費やして完成したダムです。

このダムの建設を指揮したのが、日本から派遣された土木技師八田與一で、「セミ・ハイドロリックフィル工法」という施工法を採用しています。



写真 2 八田與一銅像 (左: 金沢より送られた石灯籠)

八田與一さんは、金沢の出身でダムのふもとに銅像(写真 2)があり、近くには住居跡も復元され、八田與一記念公園として公開されています。ご子息(長男)は、国家公務員で愛知県土木部長、名古屋高速道路公社副理事長を歴任され、玉野総合コンサルタント(株)取締役会長をされていたようです。

烏山頭ダムからの眺め、特にその長さは壮観なものでダムというより堤防という感じでした。



写真 3 : 噴水 (パンフレットより引用)

烏山頭ダムには放水路や送水管があり、送水管には噴水(写真 3)があり、工事中で見ていないのですが、日本に戻りパンフレット

トを見ていたら噴水は平水塔と書いてありました。

烏山頭ダムから送水管の弁か扉体を閉めると管内の圧力が上がったたり下がったりして(図 2)、管を痛めることになります。これをウォーターハンマー(水撃作用)といい、家庭でも台所の蛇口を急に閉めたりすると、耳をすまして聞いていればドーンという音がしま

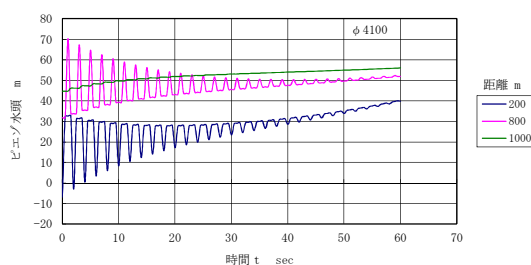


図-2 弁など開閉に伴う経過時間の水撃圧変動

す。これがウォーターハンマーです。

平水塔と名称から想像すると、この噴水はウォーターハンマーを軽減する目的で作られたものと考えられます。計算に使った送水管径、弁か扉体の開閉速度は適当な値です(図3)。

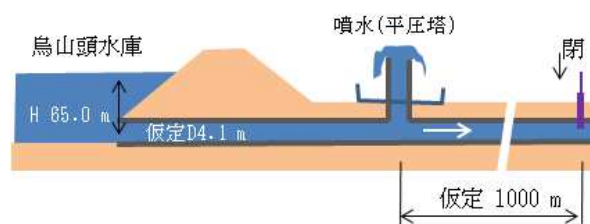


図3 烏山頭ダムと噴水(平水塔)

烏山頭ダムの今は使っていない放水路の一部から八田発電所に導水しています。発電所のタービンに水を通すだけでもウォーターハンマーを起こします。この導水管には噴水の代わりに吸排気弁(写真4)が取り付けられおり、噴水と同じ機能を果たしています。烏山頭ダムを下水道の汚水の送水ポンプに見立てれば、管径、送水距離にもよりますが、送水ポンプを停止してもウォーターハンマーが起こります。そのため、必要に応じて噴水をつけたいところですが、汚水を吹き出してはまずいことになります。そこで八田発電所と同じような吸排気弁を取り付けます。



写真4 発電機上流の吸排気弁(ジオテック(株)藤田さん提供)

図2のウォーターハンマーの計算は、特性曲線法と言う手法でプログラムしてExcelで計算しています。同行の河村(こうむら)精一さんのお父さん(岐阜大学元教授河村三郎)が書かれた本「パソコンによる水理学演習 1985年 森北出版(株)」には、いろいろな水理現象を計算できるN88-BASICコードが載っています。この中に特性曲線法も紹介されており、水路を津波が遡上するような非定常流計算ができます。この本の中ではウォーターハンマーはアリビエ公式を使って計算しています。

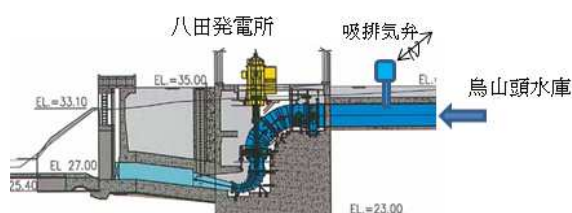


図4 発電所への導水管と吸排気弁(加筆)

河村精一のお話では、現在でもパソコンにむかって元気にやっているとのことでしたが、この報告を書いている11月28日にお亡くなりになったそうです。ご冥福をお祈りします。

□ 国立成功大学：台南(2017. 11. 02) □

国立成功大学は、烏山頭ダムを案内していただいた李 徳河教授が務めている大学で台南市にあります。学部の校舎には、専攻学科の名称が掲示されています(写真5)。

李 徳河教授は、京都大学に留学し、今回の旅行の団長である岐阜大学八嶋厚教授と一緒に赤井浩一教授(土質力学、水理学で有名)のもと研究された仲だそうです。

李 徳河教授は、下水汚泥(焼却灰)の有効利用か土に入れる研究をしたことがあると言っていました。管診



写真5 管理学部 統計学科

協の名刺を渡しました。

国立成功大学は、台湾のオランダの後の統治者の鄭成功にちなんで名付けられ、日本統治時代の1931年に台湾総督府により設立された台南高等工業学校を前身として、1956年に設立されています。(京土会会報 <http://kyodokai.gr.jp/hyoshi/49.html> より引用)

台南市内の何箇所かに分かれているキャンパスのうち、李 徳河教授に光復校舎内(構内)を案内していただきました。構内には旧日本軍関連の建物が校舎として保存、今でも利用されています。昭和天皇が植樹したガジュマル(写真6)、台南府城の城門の一つである小東門の遺跡(図5)があります。また、博物館なども併設されていて見学することができました。



写真6 昭和天皇が植樹したガジュマルの樹

□ 白冷圳：台中(2017.11.03金) □

◇逆サイホン(伏越し)

台中にある白冷圳(しゅう)は、台中市台日文化経済交流協会理事長 鐘 子桓教授に案内していただきました。

白冷圳は、日本統治時代に烏山頭ダムを建設した八田與一と同じ金沢出身の磯田謙雄によって造られた農業用水路です。台中市の山間部を水源にし、1つの水管橋と2つの逆サイホンを使って平野部に灌漑用水を送っていて、その1つの逆サイホンを見学してきました。この逆サイホンは、921地震(1999年9月21日)で被災するまで68年間使用を続けていたそうで、地震後、写真7左側を新しく作り、被災した右側は、修理して使用しているそうです。

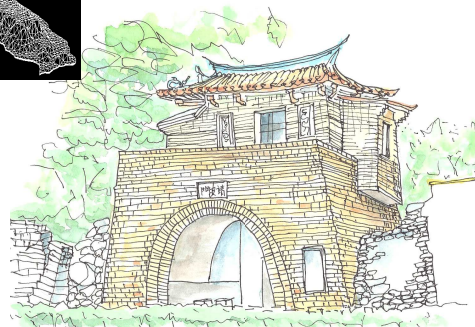
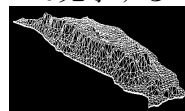


図5 台南府城の城門(小東門)遺跡(写真よりスケッチ中根)



写真7 白冷圳の逆サイホン

下水道では逆サイホンを伏越しと呼んでいて、下水道でも逆サイホンを使うことがありますが、基本的には雨水を流すためには採用しません。その理由は、路面からの砂などが管底に溜まり閉塞する恐れがあるからです。白冷圳では取水側に沈砂池機能があれば、砂の流入は少ないと思いますが多量の雨が降れば濁水となり、送水管に泥や砂が入ると考えられます。管内流速が速ければ、砂も押し流すでしょうが、一般的にはサイホンの下流側に泥吐きを設けます。現地で古い方の送水管の見える範囲の上流上側に、管頂側に潜水艦のハッチのような蓋がありました。ここを開けて土砂を除去したのでしょうか。あたらしく作った方には、見かけなかった気がします。

汚水管きよでは埋設するので白冷圳のように管自体を

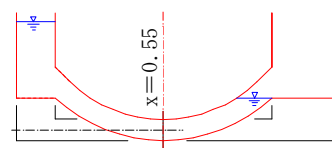


図6 従来型と円弧型の縦断形

見ることはできませんが、逆サイホンを使って汚水を流下させることが時にあります。やはり問題になるのが砂、汚水管の場合、糞かいなどの堆積です。汚水は一日の間に朝、夕方に水量が多く、深夜、早朝は水量が少ないので逆サイホン部で一定の流速が確保できないため、調査したこともあります。堆積します。

私が粒子法という手法で逆サイホンの二つの縦断形状(図6)を解析したもの(図7)で、白冷圳のように下部が水平な型より、管底の流速が速くなる(図8)ので円弧型にした方が良くと提案したものです。

◇円堀(分水槽)

白冷圳からの農業用水路の下流に円堀(直径10m×深さ2.5m)という分水槽(写真8、9)があり、これを見ました。

分水槽から二つの水路に分岐されているのが分かりますが、円堀から分かれた水路に堰が設けられ、堰の高さ、長さによって分水量を調整しています。堰は、①(写真10)が広頂堰(水流(ナツプ)形状)で、もう一方②(写真11)は全幅堰(刃型堰)になっています。この円堀の平面形状で分水しているのではなく、円堀の機能は堰上流で清水面を設けるためと考えられます。

①の堰は、水脈と堰形状が一致していなくて、剥離が生じています。②の堰は、現状写真左側に鋼製アングルが付いているため問題がないと思われませんが、堰と落水水脈との間に空気が入る仕組みができていません。日本ではスタビライザーというものを付けます。



写真9 円堀への流入水路を見る



写真10 ①の広頂堰(水流(ナツプ)形状)



写真11 ②の全幅堰(刃型堰)

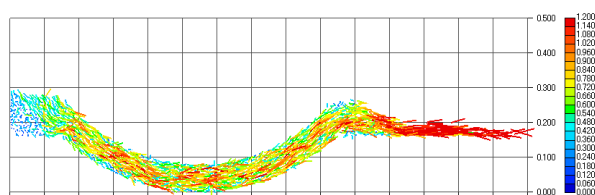


図7 逆サイホン(円弧型)の流速ベクトル

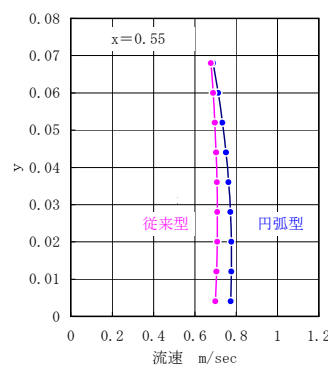


図8 逆サイホン中央部の流速比較



写真8 円堀の位置図(google 地図より)

会社に戻り、①②の堰が無く、円堀の平面形状だけで分水できるか数値計算で検討してみた。平面形状は、現地にある直径 10 m と 5 m、15 m を仮定して検討してみた。

水路寸法は、現地で測ったものではなく、適当な数値である。円堀での分水割合は深さ情報がないので、水路幅の割合で分水したいとする。

各水路の幅と x 軸からなす角度は次の通りとする。

流入 : $B1=2.0\text{ m}$ 、 $\theta 1=90^\circ$

①流出 : $B2=1.5\text{ m}$ 、 $\theta 2=240^\circ$

②流出 : $B3=1.0\text{ m}$ 、 $B1=2.0\text{ m}$ 、 $\theta 3=330^\circ$

①水路幅 $B2=1.5\text{ m}$ 、② $B3=1.0\text{ m}$ としたので、分水割合は 0.6 : 0.4 を期待する。

現況、直径 10 m の円堀内の流速ベクトルを図 9 に示す。

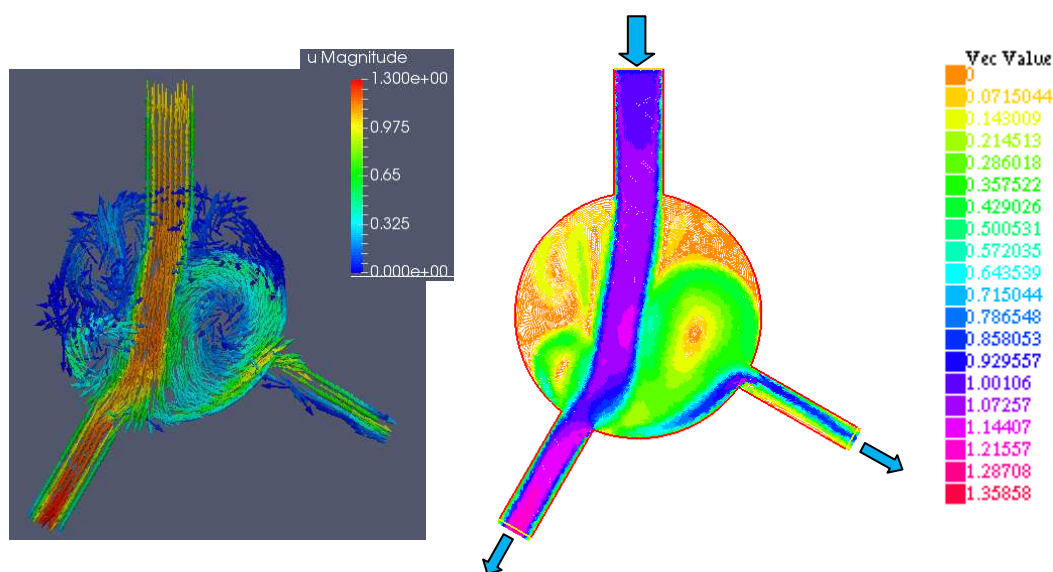


図 9 現況直径 10 m の円堀内流速ベクトル

各流出水路出口流速から流量を計算し、直径別の分水割合を表 1 に示す。

分水割合は 0.6 : 0.4 を期待し、円堀直径を変化させた。直径が大きくなるにしたがい想定した割合に近くなりそうです。平面形状だけでは所定割合の分水は難しく、堰が必要になります。

表 1 直径別の分水割合の推定

流入	B:2.0 m	
円堀直径	①分岐	②分岐
	B:1.5 m	B:1.0 m
5.0 m	0.70	0.30
10.0 m	0.75	0.25
15.0 m	0.67	0.33
想定割合	0.60	0.40

□ 石岡ダム：台中(2017.11.03 金) □

台中の石岡ダム(写真12)は、921地震による断層変位によって右岸側が崩壊しました。崩壊痕は地震公園の一部として保存公開されています。

この地震により、石岡ダム下流で河川横断方向にできた断層により落差8mの滝ができ、その断層延長線上にあった石岡ダムの右岸側が崩壊しています。

同行の(株)中日コンサルタント中道育夫さんによれば、日本において、垂直変位量が8mの地震断層は聞いたことがないとおっしゃっています。M7.2の阪神淡路大地震で最大垂直変位量1.3m、M8.0の濃尾地震でも文献によれば最大6mとおっしゃっています(写真13)。



写真12 921石岡ダムの全景(写真左端が断層により沈下)



写真13 921地震による石岡ダムの崩壊痕の保存

□ あとがき □

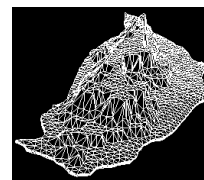
下水道技術者から見た台湾の旅先について触れました。管診協の皆様に向けて見てきたところを追加しました。

旅の最終日は台北です、故宮博物院にいき、白菜の上にキリギリスが乗っているものや豚の角煮といわれる石を見ることができました。

また台北では、有名な小龍包の店に行きました。なんと団体にもかかわらず歩道上で1時間待ったあと、小龍包を食べましたが、特においしさを感じませんでした。なぜ有名なのでしょうか。

台南、台中、台北と移動しましたが、食事はすべてあたりまえですが中華料理で、台南から台北にかけて美味しくなりました。団長の八嶋厚教授は、反対に台南の方がおいしいとおっしゃっていました。

本文のところどころに台湾のアイコンを挿入しましたが、これは国立台湾大学でフリーソフト freefem++(有限要素法のためのプログラム言語)を活用支援するグループのホームページにあるプログラムを実行して作ったものです。



<参考文献>

- 1) 市原松平, 中根 進: 内部摩擦角をもつ粘性土の地震時受動土圧の算定 土木学会論文報告集第253号・1976年9月
- 2) 石井 康浩, 中根 進: 粒子法を用いた伏越し部の流速分布解析表彰 全国上下水道コンサルタント協会 第21回技術研究発表会 優秀発表賞受賞