

神戸市の古典的水道ダムにおける 排砂バイパス水路

松下 眞¹

¹正会員 神戸市水道局 計画調整課 (〒650-8570 神戸市中央区加納町 6-5-1)

E-mail: makoto_matsushita@office.city.kobe.lg.jp

神戸の水道は 1900 (明治 33) 年に給水開始したが、当初の水源は布引貯水池と鳥原貯水池であった。布引ダムは、完成直後から豪雨時の高濁に悩まされ、貯水池へ流入する濁水を排除するしくみが必要とされていた。このシステムは、分水堰堤・締切堰堤・放水路 (トンネル) から構成されており、分水堰堤に付属した簡易ろ過装置とゲート操作により貯水池の流入水質を保持するとともに貯水池内の堆砂を抑制することを可能にするものであった。布引ダムはわが国最初の重力式コンクリートダムであるが、完成後、豪雨のたびに大量の土砂が流入し、早期に埋没することが危惧された。そのため、神戸で 2 番目の鳥原ダムの建設にあたり、排砂バイパス水路の設置が検討され、1905 年のダム竣工時に同時に水路も完成した。この効果を確認した後、堆砂の対策として布引ダムにも 1908 年に設置された。ここでは、明治期の古典的ダムに排砂バイパス水路が設備された経緯とその構造について紹介する。

Key Words: *sediment bypass, Kobe Water, masonry dam, clear water separation,*

1. 神戸水道におけるダムと排砂バイパスの建設

神戸の水道は 1900 (明治 33) 年に給水開始し、2020 (令和 2) 年 4 月で 120 年を迎えた。この間、町村合併や生活向上に伴う給水能力の増強が求められ、規模の拡大に尽力してきた。現在では、一日最大給水量 86.7 万 m³、神戸市での普及率は 99.8% となっている。

創設にあたっては、1893 (明治 26) 年にイギリス人 W. K. Burton が基本計画をたて、日清戦争など紆余曲折を経て、1897 (明治 30) 年 5 月に着工にこぎつけた。実際の建設工事は、吉村長策、佐野藤次郎など日本人技術者により進められた。当初、水源としては布引溪谷にいくつかの土堰堤貯水池をシリーズで整備することが考えられていたが、急峻な布引溪谷にあっては十分な貯水量が確保できないため、土堰堤は重力式のコンクリート堰堤に変更され、イギリス・グラスゴーで水道工学を学んで帰国した佐野藤次郎が設計の任にあたった。布引五本松堰堤 (以下、「布引ダム」) は、1900 (明治 33) 年に完成し湛水を始めたが、漏水がひどく、上流からの土砂流入にも悩まされ、これらの課題をもって英領インドおよび香港のダムを視察し、解決策を模索した。

佐野は帰国後、神戸で 2 番目になる鳥原立ヶ畑堰堤 (以下、「鳥原ダム」) の設計にとりかかったが、コン

クリートをモルタルに変更し、堆砂対策としてバイパス水路を設けることとした。ダムと水路はともに 1905 (明治 38) 年に竣工した。このシステムは一定の効果を発揮し、同様の設備を既存の布引ダムにも設置することとし、1908 (明治 41) 年に分水堰堤・締切堰堤・バイパストンネルからなる排砂システムが完成した。^{1),2)}

その後、1914 (大正 3) 年に神戸にほど近い東須磨村 (現神戸市須磨区) に皇室が使用する武庫離宮が造営されたが、この時、離宮専用の水道システムが設備されたが、水源池が豪雨による土砂で埋没する事件があり、1917 (大正 6) 年に水源池を迂回する排砂バイパス・トンネルが完成している³⁾。

以下、W. K. Burton が執筆し、佐野藤次郎も参考にした水道工学の教科書である『The Water Supply of Towns and the Construction of Waterworks⁴⁾』(1894) における堆砂対策に関する記述を確認した後、鳥原貯水池、布引貯水池、武庫離宮水道について詳細な構造および 2005 年の耐震化工事に伴う浚渫時に確認された堆砂抑制効果を紹介する。

2. Burton が紹介した堆砂対策

W. K. Burton は英国エジンバラで生まれ、実務者として実績を積んでいたが、明治政府に雇われ、1887 (明治 20)

年に来日した後、内務省衛生局に勤務してわが国の上下水道の計画を指導するとともに自らも設計に携わった。また、同時に帝国大学工科大学（後の東京大学工学部）において「衛生工学」を教え、その門下生には吉村長策、中島鋭二、田辺朔朗、佐野藤次郎がいる。彼は、大学勤務中に教科書となる前述の、“The Water Supply of Towns and the Construction of Waterworks”（以下、“WST”と略す）を1894年にLondonで出版した。この本は、水道施設を建設するのに必要なすべての知識—水源、貯水、ろ過、配水池、配水計画、配水管、給水管、空気弁、消火栓、流量計、漏水防止などの幅広い実務的な知識が盛り込まれている。図-1. にこの教科書（WST）に記載されたバイパス水路の概念図を示す。水源池における堆砂は避けられない現象であるが、貯水可能量が減ると供給能力にも影響するため極力抑制する必要がある。その手段として貯水池上流において濁水と清水を仕分けし、濁水を堰堤下流に導くことのためのバイパス水路の設置が

対策として示されている。

3. 烏原貯水池の排砂バイパス水路

烏原貯水池は、1905（明治38）年に完成した烏原ダムによって形成され、貯水量は約140万m³である。この貯水池は先行する布引ダム（1900年）における急激な堆

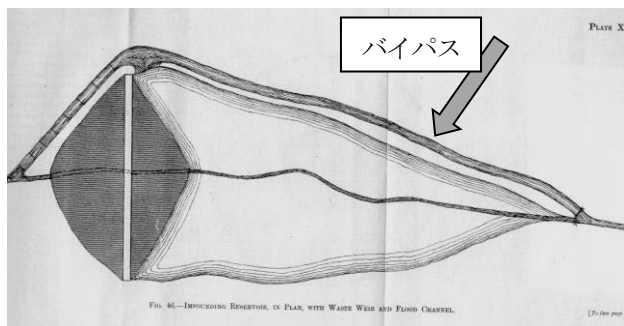


図-1. ダム配置図の模式図 (WST, Plate XII,

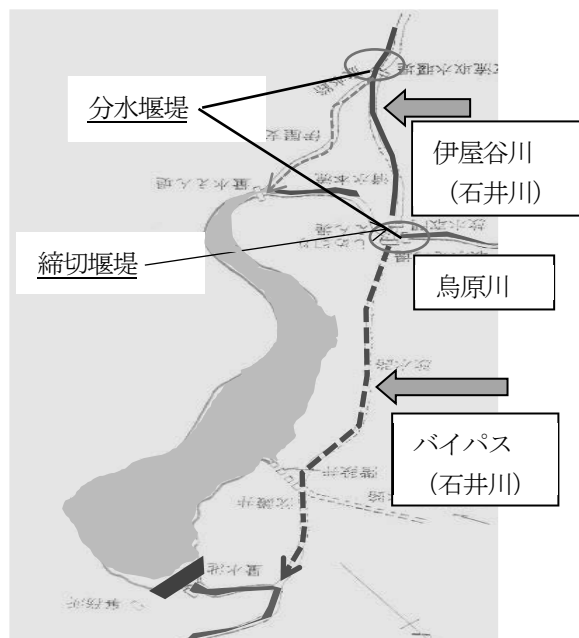


図-2. 烏原貯水池のバイパス水路



図-3. 烏原貯水池 -一分水堰堤 (a, b) および締切堰堤と合流箇所 (c)



図-4. 烏原貯水池の放水路(a), トンネル(b) および伊屋谷川 (石井川) の分水堰堤とろ過層

砂を軽減するため、Burton の示したコンセプトを鳥原貯水池において体現し、バイパス水路の設置を計画した。図-2 には平面的な配置図を、図-3 には分水堰堤、締切堰堤の写真を示した。分水堰堤の上流側には、取水口に入る前に簡易なる過層が設置されており、貯水池にはる過層を通った水のみが流入するようになっている。(図-4(c))

バイパス水路は、全長 1250.3m で伊屋谷川 (石井川) の水路が 478.78m、合流後の水路が 771.51m あり、計 5 つのトンネルとオープンの開渠から構成され、75 分の 1 の勾配で流下し、最後は滝となって鳥原川に合流している。

図-4. には水路・トンネルの写真およびろ過装置の設計断面図 (当初、伊屋谷川の分水堰堤にあった) を示す。ろ過装置については、鳥原川側にもあったが、いずれもその後のメンテナンスが行われておらず、早い段階で機能を失くなったと推定される。

4. 布引貯水池のバイパス・トンネル

布引ダムは 1900 (明治 33) 年に完成したわが国で最古の重力式コンクリートダムである。当初から、上流には砂防ダムが 3 か所設置されていたが、豪雨による六甲山の崩壊は著しく、上流の土砂は貯水池内のダム直下に蓄積していた。設計者の佐野藤次郎はダムの寿命に危機

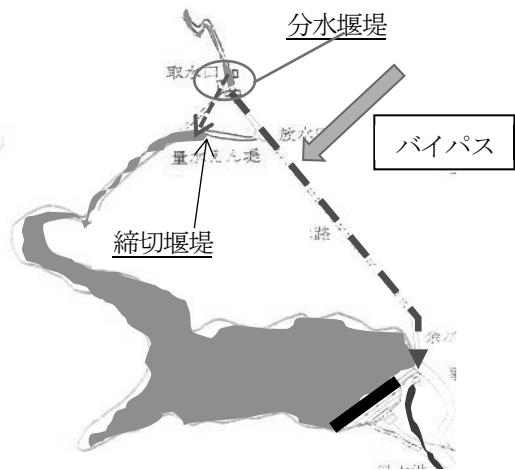


図-5 布引貯水池とバイパス・トンネル

感を覚え、鳥原貯水池では上流で分離した濁水をバイパス水路で堰堤下流に導く対策を追加したが、この方式は一定の効果をあげたため、先行して完成していた布引貯水池にも追加することにし、1906年に着工、1908年に完成させている。

図-5. には布引貯水池のバイパス平面図を示す。バイパスは全長 261.81m で、ほぼ全線がトンネルとなっており、極めて合理的な配置となっている。上流における清濁分離は、鳥原と同様に分水堰堤上流側に簡易ろ過層を設置し、その通過水を取水するようになっており、ゲ

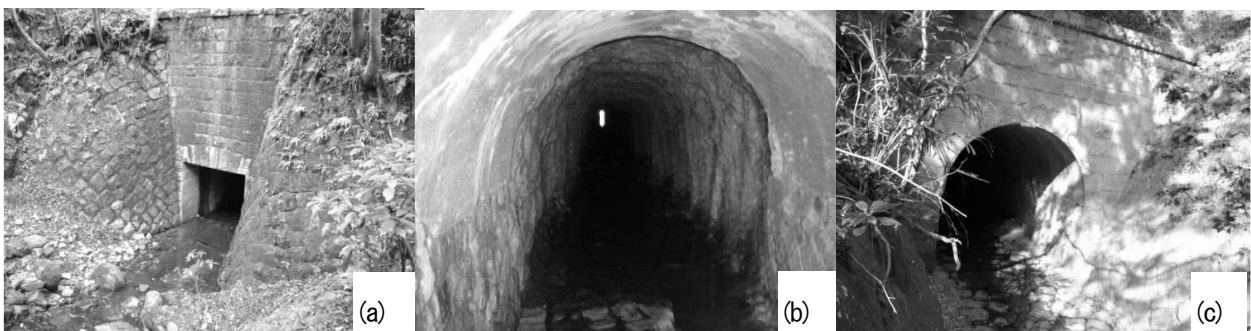


図-6 布引貯水池の排砂バイパス・トンネル - 入口 (a) . 内部 (b) . 出口 (c)

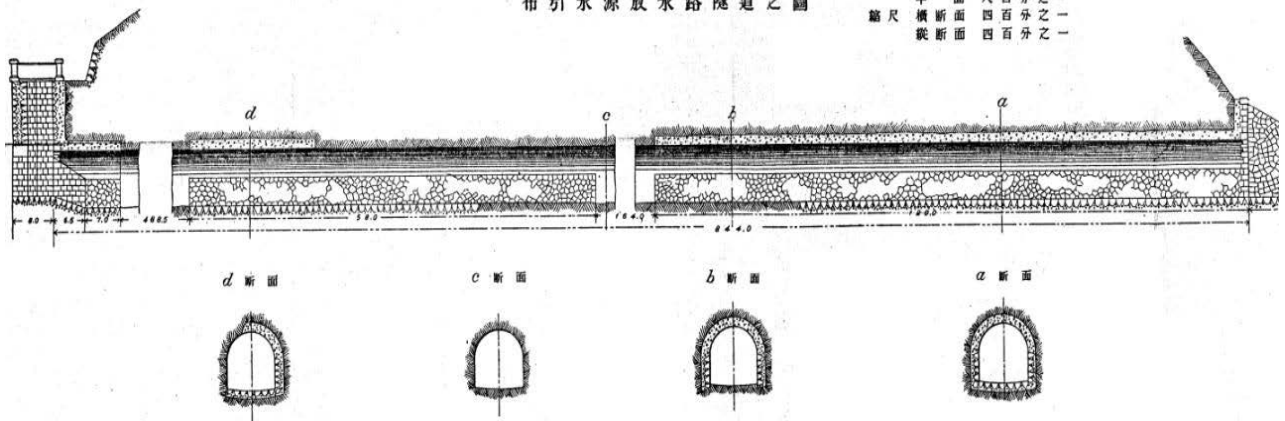


図. 7 トンネル縦断と断面形状

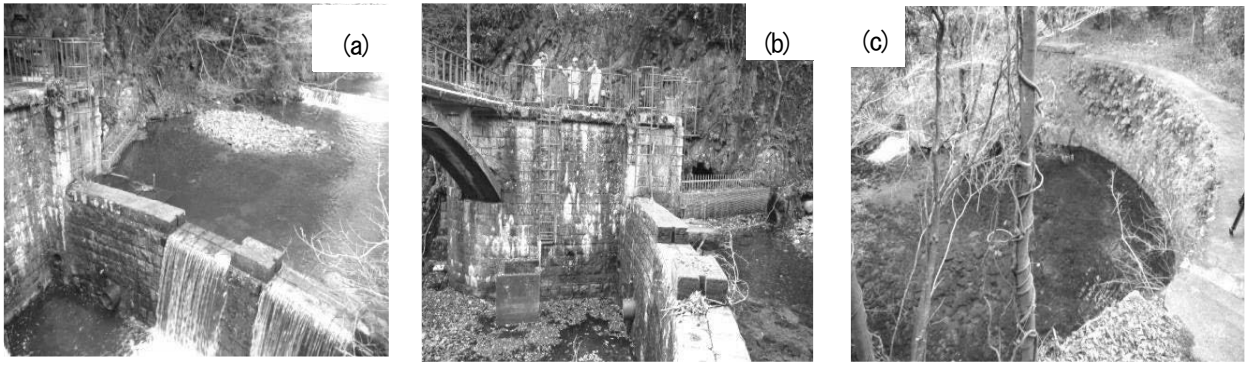


図. 8 布引の分水堰堤 (a), 取水塔 (b) および締切堰堤(c)

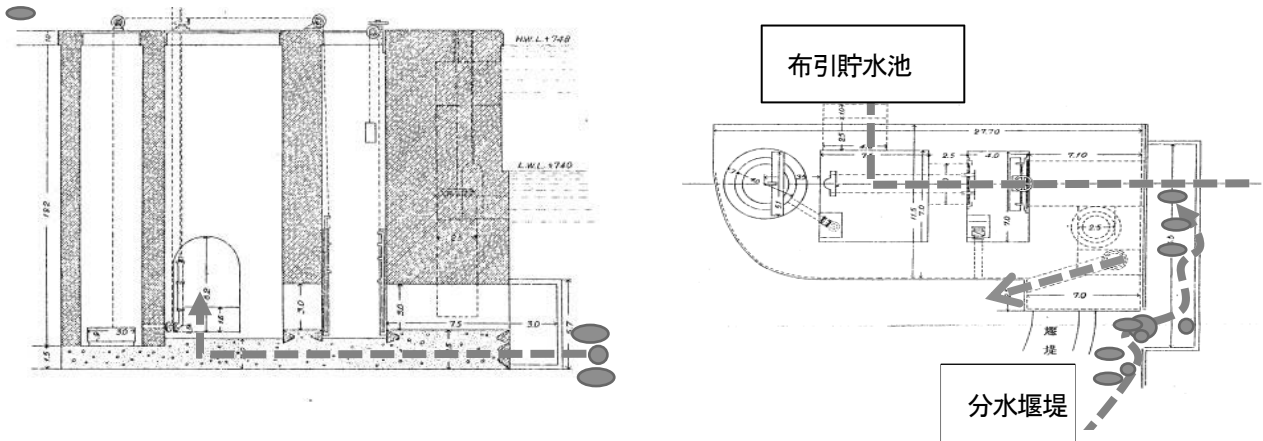
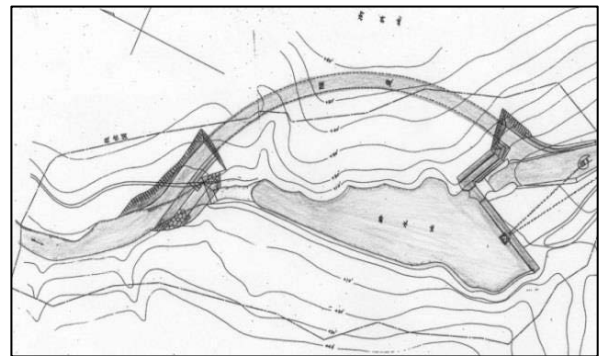


図- 9 取水設備の断面 (a) および平面図 (b) と分水堰堤から貯水池への水の流れ

ート操作により濁水を放水路を通じてダム下流に導くようになっている。

図-6. にはトンネル入り口(a)と内部(b), 出口(c)の写真を示した。図-7. にはトンネルの断面 (縦断、横断) を示した。図-8. には分水堰堤(a)・取水施設(b)・締切堰堤(c)の写真を、図-9. には清水・濁水の分離を行う取水施設の断面図 (左) と平面図 (右) を示した。ろ過層は右下の分水堰堤上流側に設置され、取水口に導くように砂利・玉石が配置されている。



図— 10 武庫離宮の排砂バイパス

はまだなく、飲料水供給に離宮専用の水道施設が建設された。水源は「天皇の池」と呼ばれる湧水と河川の表流水であるが、大正6年の豪雨で貯水池が埋没したため、

5. 武庫離宮水道の貯水池バイパス

武庫離宮は 1910 (明治 44) 年に当時の東須磨村に計画され、1914 (大正 3) 年に完成した。当地に水道施設



図-11. 武庫離宮水道のバイパストンネル (a)、トンネル内部 (b) および天皇の池 (c)

湧水を保護するため導流堤とバイパス・トンネルが1917年に設置された。図-10に平面図を示す。この結果、湧水のみが水道水源として貯留され、河川からの流入はなくなった。武庫離宮造営録に記載はないが、このバイパス・トンネル設置に関して、1905年に鳥原貯水池のバイパスを、1908年に布引貯水池にバイパスを計画・施工した神戸市水道の技師から何らかのアドバイスがあったのではないかと推察できる。なお、図-11にはバイパス・トンネルの入口(a)・内部(b)および水源である天皇の池(c)の写真を示した。武庫離宮は1945年の神戸大空襲で焼失したが、その後、神戸市営の須磨離宮公園として整備されたが、天皇の池(水源)と排砂バイパストンネルは上流の山中に未だ残されている。

6. 排砂バイパス水路の評価

阪神・淡路大震災が発生した1995年は、前年から続く渇水で布引ダムの水位が低かったため、ダムに大きな影響はなかった。ただ、堤体からの漏水量が多少増加する現象がみられた。この影響を判定するため「ダム調査研究会」が設置され、基礎岩盤に達するカーテングラウトを施工するとともに、耐震対策として、本体の安定性を増すため、上流側にフィレットと呼ばれる増し打ちコンクリートを施工することになった。この工事のためにはダムの水を抜く必要があり、併せてダム内に堆積した土砂を20万m³除去することになった。その結果、はからずも堤体の上流側壁面が露出し、堆砂状況を観察することができた。図-12には、1900年から排砂バイパスが設置された1908年を経て、浚渫工事を実施した2003年までの堆積状況を示す。堤体壁面に残された土砂の違いから、1908年までは急激に堆砂が進行したにもかかわらず、それ以降は堆砂速度が緩やかになり、約100年の間、土砂を排除することなく貯水機能を果たしたことが観察できる⁹⁾。

7. 結論

神戸市水道局が所有する布引・鳥原の二つのダムによって形づくられる貯水池は、創設期における貴重な水源であった。この水源の貯水量が減少することは水道供給の不安定さを増すことにもなる。堆砂の抑制は大きな課題であった。また、清水のみを貯水池に導き、濁水をダム下流に排除することで、貯留水の良い水質を維持することにつながった。

水道建設は開港地であることから要求されていたが、船乗りから「赤道を越えても腐らない水」と評価されるコウベウオーターの由来にもなっている。昨今、ダムの堆砂問題が顕在化し、「ダムの再開発」と

して排砂バイパス・トンネルの設置が話題になっている。わが国のダム創世記に建設された布引・鳥原の両ダムにおいて、堆砂抑制を目的とした「放水路(当時)」なる排砂バイパス水路が設備されていたことは特筆すべきことと評価できる。重要文化財でもある布引ダムは市街地から近く、格好のハイキングコースであり、多くの観光客が訪れる。本稿で紹介したようなダムの堆砂抑制対策(排砂バイパストンネル)が早くから講じられ、うまく機能してきたことも広くアピールしていく必要がある。

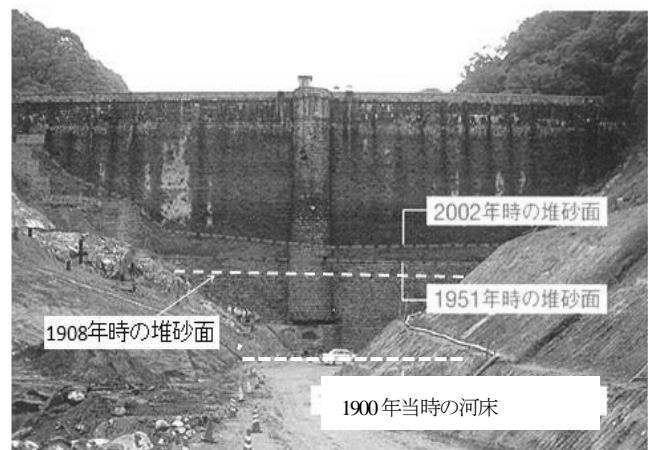


図-12 1900年から103年間の土砂堆積状況

参考文献

- 1) 神戸市役所：神戸水道誌，pp621-623，pp632-633，pp639-643，1910.
- 2) 神戸市水道局：神戸水道70年史，pp.112-122，1973.
- 3) 松下ほか：.旧・武庫離宮の水道施設，土木史研究講演集，Vol.31,pp.103-110，2011.
- 4) W. K. Burton：The Water Supply of Towns and the Construction of Waterworks，pp68-70，Crosby Lockwood，London，1894.
- 5) Matsushita M.：Clear Water Separation and Sediment Bypass of the Oldest Masonry Dam in Japan，*Proc. of 2nd International Workshop on Sediment Bypass Tunnel*，CD-ROM，2017.

(2020.4.20 受付)

SEDIMENT BYPASS CHANNELS OF THE CLASSIC WATER SUPPLY DAM IN KOBE CITY

Makoto MATSUSHITA

Kobe City's Nunobiki dam (1900) and Karasuhara dam (1905) are the oldest masonry dam in Japan. After completion Nunobiki Dam had suffered heavy sedimentation from the beginning. Mr. Tojiro Sano, the dam designer, decided to put the bypass channel to the next masonry dam, Karasuhara Dam. The structure of this bypass was designed to mitigate reservoir sedimentation according to some knowledge from the book of Mr. W. K. Burton, a British water engineer. The reservoir water filtered with sand and gravel and dirty rain water goes into the bypass line. As a result, dam will able to protect its water quality and to prolong its lifespan. The first sediment bypass was equipped to Karasuhara Dam and the second installation is Nunobiki Dam. And Muko-Rikyu waterworks has also Sediment Bypass system to protect its water resource. The author will explore these three sediment bypass systems and reveal the effect of Sediment Bypass system.