

ことで、2号開水路区間での土砂の堆砂を促進させ、下流の水路トンネルへの土砂の流入を軽減させている。また、2号開水路下流の3号水路トンネルでは水路幅を2.13mと通水断面を縮小させることで流速を増大させ、水路トンネルでの土砂の堆砂を減じている。

下流区間でも同様であった。12号水路トンネルの水路幅は0.85mであるのに対し、その上流の11号開水路の水路幅は1.7mと広い。また、12号水路トンネルの下流の12号開水路の水路幅は1.75mと広がっている。通潤用水では、他の区間でも同様に水路トンネルの水路幅が開水路の水路幅より狭く、通水断面を縮小させることで流速を増大させる工夫となっていた。

また、水路トンネル区間の入口、出口では開水路区間より深く掘り下げられており、水路トンネル区間は、ある程度の堆砂を許容できる形状となっていた。【図5-3-24】に12号開水路の前後の水路トンネルの掘り込んだ形態を示す。開水路と水路トンネルの接合部の掘り下げられた部分に土砂が堆積していた。聞き取り調査から、管理者は基本的にこの部分の土砂を除去するとのことであった。

さらに、中央に穴が開けられている水路トンネルもあった【図5-3-25】。管理者が土砂をその穴から排除出来るような工夫である。これらの工夫により通潤用水では建設以来、管理者は水路トンネル区間に入り土砂の除去作業を行っていないが、通水機能が維持されている。

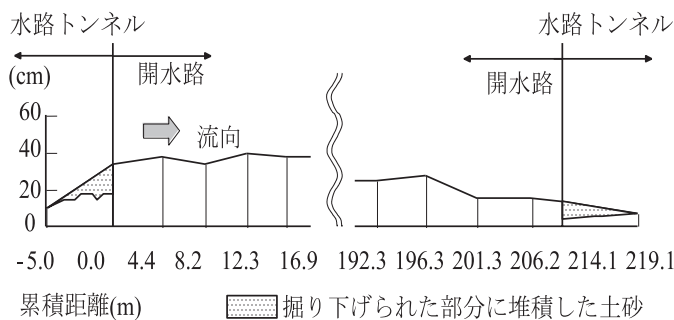


図5-3-24 12号開水路前後の水路トンネルの掘り込み水路幅が縮小する水路トンネル



図5-3-25 水路トンネル中央部の排砂用の穴

【通潤橋の放水による排砂】

通潤橋の放水は景観資源として有名であるが【図5-3-26】、その目的はサイホン内に堆積する土砂を排砂（フラッシュ）するために行われる。放水は基本的に灌漑期（5～10月）の前後2回行われる。放水は上岸側から2ヶ所、下岸側から1ヶ所で行われる。放水を上岸と下岸に分けた理由は史料には見られないが、放水時における左右の震動の偏向を防ぎ、橋脚の安全性を高めるためと推察される。放水を行わない通常時の通潤橋のサイホン内の圧力勾配は、上流の吸水槽と下流の吐水槽の水位差2.1mをサイホン長126.9mで除し0.0165となる【図5-3-27】。放水時は吸水槽と放水口の水位差が6.8mでサイホン



図5-3-26 通潤橋の放水の様子

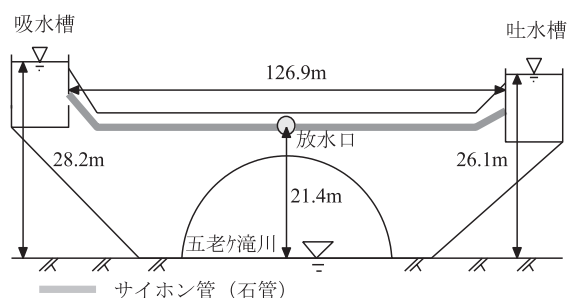


図5-3-27 吸水槽、吐水槽、放水口の水位差

長は63.45mのため圧力勾配は0.1072となり、通常時の圧力勾配の6.5倍となる。吐水槽と放水口も同様の計算を行うと圧力勾配は0.0741となり、通常時の4.5倍となる。このように放水時は圧力勾配が大きくなることから、それに応じて流速が速くなる。このため粒径の大きな土砂も排砂できる。

通潤橋（通水石管）からの放水は、泥ぜん抜きの設置や水路トンネル形状の工夫と同様に火山灰の堆砂に対する工夫である。このように通潤用水では、堆砂に対する細やかな工夫が施されていることがわかる。

②洪水時安全対策

【水落シ砂蓋の設置】

通潤用水には20ヶ所と多数の「水落シ砂蓋^{さぶた}」と呼ばれる放水工が設置され、洪水時の安全性に対して慎重な設計がなされている。水落シ砂蓋（放水工）は上井手に13ヶ所、下井手に11ヶ所設置されている【図5-3-28】。上井手では笹原頭首工～通潤橋区間に10ヶ所となっており、山際に沿って水路が建設されているため、洪水時に山腹からの表面流出水が多量に水路内へ流入する。そのため、上井手のこの区間では通潤橋～末端区間より多くの放水工が設置されているものと思われる。下井手も同様の性格を持っている。同じ山間部の水路システムの中でも、このように多くの放水工を設置している水路システムは少なく、設計者の安全性への意識の高さがうかがえる。

また、放水工の設置方向、設置の仕方にも工夫が見られる。隅角部の場合、流向に対して垂直に設置してあり、水が放水されやすい形状となっている【図5-3-29】。隅角部がない場合も水路幅を拡幅して、流速を低減させ流水の勢いを抑えることにより、放水を助長するように形状が工夫されている。通潤橋は白糸台地に通水を行うための特に重要な水利施設である。そのため通潤橋の直上流にある砂蓋が最も大型であり、洪水流による通潤橋の破損のリスク回避に特に留意していることが推察される。

水落シ砂蓋の設置位置は建設当時の位置を基本的に踏襲しているが、現在は、以前のような木製の手動で開閉を行うゲートは除去され、自動転倒ゲートが導入されている【図5-3-30】。このことにより、水利システムの管理者（土地改良区）は、降雨時にゲート操作を行う必要がなくなり、労力が軽減された。現在、自動開閉

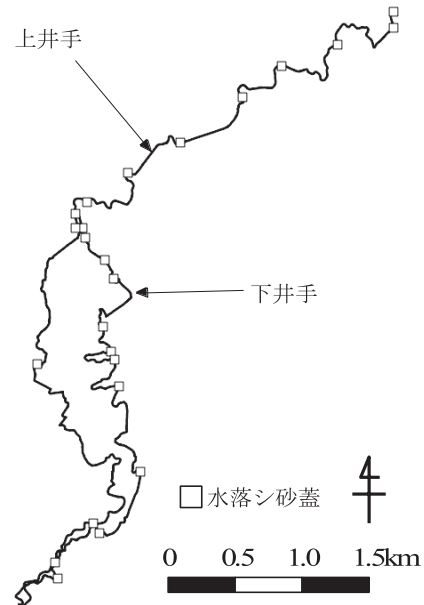


図5-3-28 水落シ砂蓋の位置

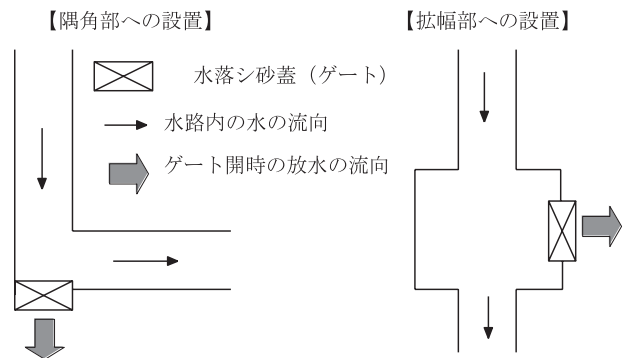


図5-3-29 水落シ砂蓋の設置方法の模式図



図5-3-30 隅角部に設置された自動転倒式ゲート

式のゲート等、通潤用水建設当時にはなかった高度化された水利施設が開発されている。これらの高度化された水利施設を水利システムに導入し、水利システムの水利用の利便性の向上や洪水時の安全性の向上を図ることは必要である。ただし、その場合、可能な限り歴史的水利システムの建設当時の設計者の意図を限り理解しておくことが重要と考える。通潤用水においては、建設当時の設計者が山際からの土砂の流入に特に配慮していたこと、放水を促す形状としていたことを理解したうえで、現在の高度化された技術を導入し、水利システムの機能を向上させていくことが求められる。

【上井手支線と下井手幹線が交差する地点の工夫】

上井手から分岐する比較的大きな支線水路と下井手が交差する地点では、支線水路を通じて洪水時に過剰な流量が下井手に流れ込まないように「水路の破損回避」と、支線水路からの用水を受け下井手で反復利用できる「用水の有効活用」の両面を考慮したと思われる天水吐が設置されている。洪水時に過剰な支線水路の流水が下井手に直接流入しないように支線水路と下井手は立体的に交差している【図5-3-31】。そのため、支線水路の流水は、直接、下井手には入らず、下流河川（五老滝川）に放水される。しかし、交差点では水路底にスリット（隙間）が開いており、スリットから落水した用水は下井手に供給される。つまり、通常時の支線水路の流量が少ない場合は、下井手に全量が流入する。



図5-3-31 水路の立体交差部の天水吐

白糸台地はもともと用水が不足しているため、通常時は支線水路から流下する水を下井手で承水し、反復利用できる水利用形態である。天水吐も反復利用を意図した工夫と推察される。このように、通常時は反復利用を可能とし、洪水時は過剰な流水を河川に放水する仕組みは、灌漑時の用水の有効利用と洪水時の危険回避のバランスを考慮した合理的な方式といえる。

③通潤橋石管の継ぎ手補修

通潤橋は白糸台地へ通水するためのサイホン橋であるため、送水管に圧力が生じ水圧による水漏れが発生しやすい。このことは通潤橋の建設当時に大きな問題となり、木製の送水管では管内の水圧のため漏水を防ぐことができず石管が採用された。石管の接続には漆喰が用いられた【図5-3-32】。この漆喰の材料の調合方法、作成方法に関する記述が『仕法書』に残されている【表5-3-16】。同書によれば、土（5合）、白灰（2升、現在は消石灰を使用）、砂（1升8合）、塩（1合）、および松葉汁を材料とし、それらを混合、攪拌し、2日後に再度攪拌するという2段階で調合したとある。なお、松葉汁を使用する漆喰は、宇土の轟泉水道の「がんぜき」にも見られる。『南手新井手記録』では、布田らが試行錯誤のうえ完成させた漆喰を「八斗漆喰」と呼称している。なお、漆喰による石管の接続部は全体で930ヶ所ある。

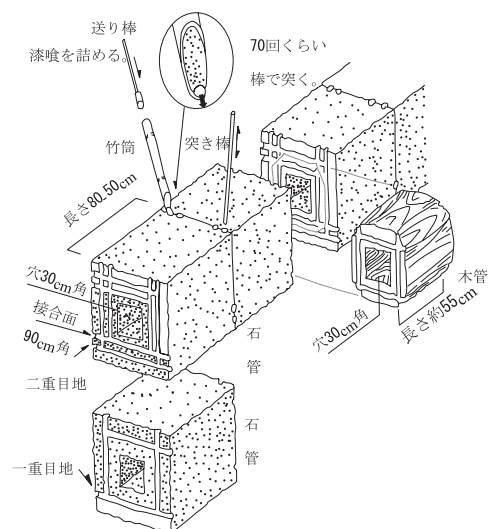


図5-3-32 通潤橋の石管とその接続方法

近年、通潤橋の石管継目からの漏水の補修に際し、漆喰の代わりにセメントが用いられた。セメントで補修した場合、再び漏水が発生するとセメントを剥ぎ取る等の大規模な補修が必要となった。通潤橋

は重要文化財に指定されていることもあり、現在、漏水の補修は漆喰により行われている。漆喰はセメントのように堅牢な材料ではないが、石管からの剥ぎ取りが容易で簡易に補修ができる材料といえる。

表5-3-16 漆喰の作成および使用方法

漆喰の調合と作成方法
<ol style="list-style-type: none"> 1. 土5合，石灰2升，砂 1 升8合，塩1合，松葉汁を合わせる 2. これを 2 昼夜寝かし、日光に当てて乾かし、もみ碎いて粉状にする。
漆喰による接合方法
<ol style="list-style-type: none"> 1. 石管、木管に目地を刻む 2. 管を密着させる 3. 竹のそぎ口に土を、竹の先端に漆喰を詰め、送り棒で突き出す 4. 槌で70回叩く、強からず、弱からず、平均的に叩くことが肝要で、1人1日2カ所詰める程度。

4. 農業土木施設としての通潤橋の評価

(1) 通潤用水システムにおける位置づけ

白糸台地はもともと水源に乏しいため、《湧水を水源とした小規模分散型の水利システム》があるばかりであった。水田を拓くためには外部から水を引いてこなければならなかったが、できるだけ多くの水田を拓くためには、できるだけ高い所から水を回すことが必要であり、この台地へ入ってくる水の入口の位置（標高）が開田の可能性を左右した。台地は大きな比高差を持つ峡谷に囲まれ、近傍の五老ヶ滝川から取水すれば、どうしても低い標高の土地を通る水路とならざるをえず、多くの水田を拓けない。

通潤橋において、石造アーチ水管橋という独特の形式・構造が選択されたのはこの事情、つまり高位部から谷を渡って台地に導水する必要があったことによる。渡河のための施設としては掛樋もしくは伏越が必要となるが、木樋の伏越によって試験施工を行ったものの高水圧に耐えられず失敗した。このため、必要な高さに導水するには水路橋をも併用しなければならないところ、橋梁の当時の最高位を誇る霊台橋に近い規模のものが限界高さとなることから、そこへなお数間分の水圧に耐えられる石管を載せることとしたのである。阿蘇の溶結凝灰岩に恵まれた石造文化圏内に属し、石造橋が一般的になっていたことがその背景にある。

台地へ引水する入口の標高が定まれば、そこまでの導水は、より高い笹原川から取水して台地の手前まで引くことになる。そこにはかつて砥用手永が中絶して残置された水路が活用された。通潤橋で谷を渡した後、台地内ではできるだけエネルギーを保って尾根沿いに水路を設ける（上井手）。用水の有効利用のために、近傍の五老滝川から取水する下井手を引き、上井手からの落水を下井手で受けることとする。

こうして、潤沢な水源を得て《河川取水による大規模集約型の水利システム》が成立した。その後、通潤用水の水利システムは、台地のより高位部への受益の拡大を目的とするポンプの設置や、維持管理の軽減のための施設改変を伴いつつ、水利用の進展に伴い発揮されてきた機能を継続的に強化して現在に至っている。

水利システムとしての運用に当たっては、さまざまな水管理・施設管理上の工夫が凝らされている。水管理の工夫としては、①上井手と下井手の上下二段幹線水路による反復利用、および②過剰分水を防ぐための分水箱による通水断面の規定がある。施設管理の工夫としては、①土砂管理の工夫、②洪水時安全対策、③通潤橋石管の継ぎ手補修などがある。このうち土砂管理においては、泥ぜん抜きの設置による沈砂促進、水路トンネル形状の工夫による堆砂の軽減、通潤橋の放水による排砂が行われている。

また、洪水時の安全に対しては、水落シ砂蓋の設置や上井手支線と下井手幹線が交差する地点の工夫といった対策を講じている。こうした優れた工夫が、通潤用水としての水利システムを維持している。

(2) 他に例を見ない最高級の施設としての通潤橋

通潤橋は、近世の新田開発を支えた各地の農業水利施設に比較して、以下の際立った特徴を持っている。

ア. 現役であること

通潤用水の水利システムの機能として、水理性能、水利用性能および構造性能を見れば、三つの性能とも健全に維持されている。とりわけ、通潤橋は、大規模な補修も受けず、熊本地震によっても壊滅的な打撃を被ることなくほぼ原形を保つという強靱さを発揮した。

イ. 石造の水利構造物であること

近世の水利構造物がほとんど木造であり、それゆえ近代以降安価な鉄・コンクリート製に置き換えられていったのに対し、サイホン式の石造アーチ水管橋である通潤橋は、耐久性に優れた石材のみで構築され、石垣としての構造の強さ、管理のための工夫も相まって、現在も原形のまま使用されている。

ウ. サイホン（伏越）を一体化させた水管橋という他に例のない形式を持つこと

伏越も掛樋も近世の農業用水には数多造られてきたが、近代以降に圧力管としての能力の優れた鋼管・コンクリート管の出現する以前には、伏越を一体化させた水管橋という形式は、他に例を見ない独特のものであった。

エ. 規模が長大であること

伏越を一体化させた水管橋という通潤橋にそのまま比較できる施設は他にないことから、「伏越」、「掛樋」、「石造アーチ橋」および「石管」という比較要素のそれぞれについて見たところ、通潤橋を凌駕する規模の施設はあるものの、通潤橋は以上の特徴をすべて具備持つ稀有な施設であり、規模もそれらの事例に匹敵するものであった。

オ. 技術文書を伴っていること

施工の具体的な方法、図解、試験施工の経過など、現代にいう「工事誌」に相当する『通潤橋仕法書』を伴う点で、通潤橋は稀有な存在である。

(3) 通潤橋の位置づけ

全国各地の新田開発にあっては、それぞれの時期に地域ごとに特徴のある施設が建造されて地形・水利条件を克服し、その技術的成果が経験として蓄積されていった。幕末期、開発限界に佇んでいた乏水性の白糸台地において台地への導水という難条件を克服したのは、惣庄屋布田保之助が率いる、肥後藩の中間的地方行政機構である手永が事業主体となって開削した通潤用水であった。

通潤橋は、台地の水田を造成し維持するためのこの水利システムの一環を構成する施設である。サイホンと水路橋を一体化させるという独特な構造がこのシステムを可能にしたのであり、台地のいわば喉元に当たりその位置を決めるという意味で通潤用水の要であり、原点をなしている。その独創的な発想といい、規模の大きさといい、当時の最高水準の建設技術の成果であり、近世新田開発に係る水路構造物の最高峰をなすということができよう。

〈註一覧〉

- 1 「南手新井手記録」（通潤地区土地改良区所蔵、元は白石・渡辺家文書）【14】、【88】、【116】などに記載されている（山都町作成資料による）。
- 2 藩内の2事例については、京都大学大学院農学研究科（地域環境科学専攻 水環境工学研究室）の濱 武英准教授のご教示による。
- 3 本稿においては、埋設管内の流れが満流のものを「伏越」、自由水面を持つならば「暗渠」とし、伏越とサイホンは呼称・表記が異なっても同じものとして扱い、総体として歴史的用語に即して「伏越」を用いることとする。

ちなみに、現在の農業土木の世界では「伏越」は古語として扱われ（農業農村工学会編2019）、水路設計に係る基準書にもその呼称は出てこない。設計基準では上記と同様、満流か否かで「サイホン」と「暗きよ」を区別している（農林水産省農村振興局2015）。したがって、現在の基準でいう「サイホン」を本稿では「伏越」と呼び変えていることになる。

「伏越」の語が命脈を保っていた時期には伏越とサイホンを区別する考え方もあった。だが、このいわば伏越（＝サイホン）を細区分する考え方を本稿で採用しない。理由は以下のとおりである。

本稿でいう伏越を細区分する考え方の代表的なものに牧隆泰『日本水利施設進展の研究』（1958、以下、『進展』という）がある。そこでは「導水路中の構造物施設」の一つとしての「伏越、サイホン工」において、「伏越とは上、下流即ち入口と出口の間に若干の水位差があるが底は水平に近くして満流する暗渠の如きもの、サイホン工とは上、下流に水位差があり、とくに最低部があつて、ここに最も大なる水圧をうける管水路をいう」と区別している。この規定の後に特徴として、伏越は「大抵木造で一般に断面大きく、暗渠に近いもの」、それに対しサイホンは「大抵1尺角以上の切石の中をくり抜いた管をつなぎ、入口と出口に「空気の妨害」（管内に空気が溜まるために発生する通水障害）を避けるための水槽と、入口に泥土流入を防ぐ措置があると述べる。そして伏越の例として馬頭井堰のものと同見沼代用水・柴山伏越を、サイホンの例として十二貫野用水・竜ノ口用水、通潤橋、辰巳用水サイホン、島根・七条東開田の釣り溝を挙げている。

この区別は本書に先立つ彼の著書から一貫し、たとえば『新編 農業土木学』（1947（初版1942）、以下、『農土』という）では、「サイホンと伏越は同じものであるけれども伏越は普通の道路を横切る太い暗渠に似てその長さ比較的短く断面大きく管の底が真直ぐなるものが多く、水路中の勾配と大差なき勾配で満流して流れて行くものを云ふ。サイホンは其の管が長く深く下降して居るのが普通である」としている。ちなみに「暗渠」について同書は、「サイホンでは満流するが、暗渠では断面の如何に拘らず満流しない」と述べる。

つまり牧は、伏越・サイホンと暗渠とを管内の満流か否かで分離したうえで、満流するという意味で「同じもの」である伏越とサイホンを細分し、【表5-3-17】のように区別するのである。そのことは『農土』に並べられた二つの図【図5-3-33】を見れば明瞭である。

表5-3-17 牧による伏越とサイホンの区別を表す指標

	伏越	サイホン
上・下流の水位差	小	大
勾配	元の水路とほぼ変わらず	(元の水路より急勾配)
底（もしくは最低部）	水平（最低部の区分なし）	顕著に存在

しかしながら、牧の規定には問題がある。『農土』の図も参照して記述を総合してみると、施設の全体形状として、大まかには伏越は幅の広い（底の長い）U字形のもの、サイホンはV字形のものを想定しているようである。だが、『進展』にサイホンの例として掲げられた、最低位部に水平部分を持たない竜ノ口用水の形状と、最低位部である水平部（厳密にはそうでないにせよ）の割合の大きい通潤橋の形状を上記の区別の規定と照らし合わせると困惑する。また、伏越の例である柴山伏越は、明治20年（1887）に木製のものが煉瓦造りに、昭和3年（1928）にコンクリート製に改築されており、それぞれの時期の形状は【図5-3-34】のとおりであった。牧著書の当時は下の「新伏越」の時期に当たり、敷高は入口A.P.36.894m、最低位部同17.838m、出口35.409mで、上・下流の水位差は1.485mとなっている。この事実をどう扱うべきか。

『進展』で区別の指標としている上・下流の水位差は、「U」や「V」でいえば線の起・終点での高さの違いであり、全体形状を左右するものではない。また、『農土』の2図に上・下流の水位差はほとんどないし、底が水平であっても最低部になり、最大水圧を受けることに変わりはない。『農土』のように「管が長く深く下降して」と規定するならば、上・下流の水位差ではなく入口と最低位部の比高差を区別の指標とするべきであろう。さらに、この「長く深く」も上・下流の水位差の大小も、総じて規模を表す用語が相対的・感覚的であり、『進展』の竜ノ口用水の記事に「入口出口の水位差約1尺2寸」（36cm）、通潤橋に「上、下流間の落差1.6m」とあるが、上記柴山伏越の約1.5mも含めて、どの程度の水位差があれば伏越とサイホンが区別されるのかは曖昧である。

もう一つ、この規定ははたして歴史的に遡及できるのか、大いに疑問である。『農土』の図のような現代の、水理学

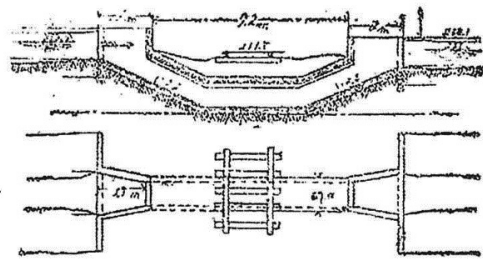
に基づいた鉄・コンクリートによる構造物の姿を安直に投影して、自ら「同じもの」と言う施設を無理に細区分して
いないだろうか。確かにこの2図には明確な差異があるように見える。だが、ここでいう「伏越」は確固とした躯体
を持つ「溝渠」であるから成り立つのであって、河道の変転極まりない自然河川を伏越すのであればどうだろうか。
伏越される「溝渠」の壁面と入口・出口の距離、底面との離隔が少し大きくなれば、さきの「U」と「V」の中間にさ
まざまな遷移形が出来し、伏越とサイホンとは形状として見分けがつかなくなる。柴山伏越がそのいい例であろう。

さらに、『進展』に挙げられた著名なものを除いて、史料に散見される「伏越」やそれに類する「伏樋」、「埋樋」な
どと呼ばれる施設のほとんどは、構造の詳細など不明のまま消滅していった。そうした実態不明のものに現代流の指
標を当てはめて、伏樋とサイホンの区別をすることは不可能である。それ以前に、文書に「伏越」などと記されてい
ても、構造の詳細が不明なことから、厳密な意味での伏越か暗渠か不明な場合がほとんどである。そうした状況で、
近世以前の伏越を全体として見るときに、構造が知られる例外的少数の事例だけに基づいて区別することに何の意味
があるか。

なお、牧が規定を補強するように持ち出した特徴のうち、木造と石造という材質による区分は、サイホンと規定さ
れた竜ノ口用水と辰巳用水サイホンにおいて、建造当時からかなりの長期間木樋が使用されてきたことが牧著書以降
に判明しており、現段階では特徴ともいえなくなっている。



第174圖 伏越の圖(溝渠下を伏越す)

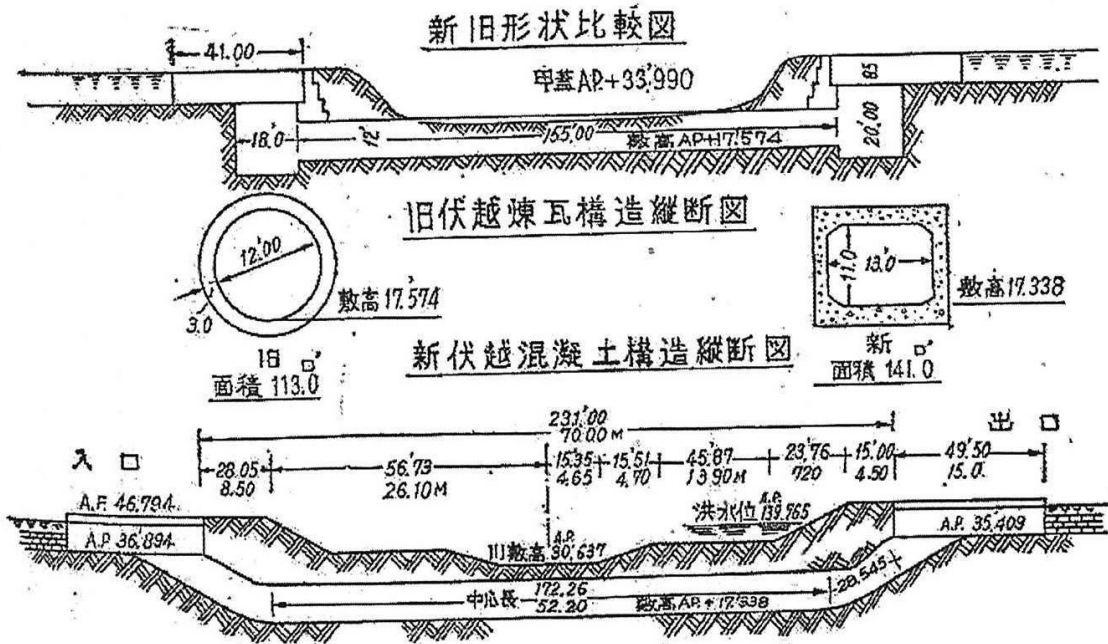


第175圖 鐵道下の「サイホン」

出典：国立国会図書館デジタルコレクション：牧隆泰『新編 農業土木学』

図5-3-33 『新編 農業土木学』の伏越とサイホン

第廿四圖 新舊形状比較圖



出典：国立国会図書館デジタルコレクション：見沼代用水土地改良区編『見沼代用水沿革史』

図5-3-34 見沼代用水・柴山伏越の変遷

- 4 群馬県前橋市の八坂用水の例を見る。八坂用水（現在、^{きわにった}佐波新田用水に統合、約14.5km分が旧八坂用水）は、赤城南麓に位置する伊勢崎藩領に藩士小島武堯の指導で宝永3年（1706）に開削された。ここに神沢川を横断する掛樋、八坂樋がある。『伊勢崎風土記』（1798）に「長二十七丈深三尺以板蓋其上」と記載された八坂樋は、27丈（81.8m）のうち渡河部分が十数本の橋脚に支えられた13～17間（23.5～30.8m、年代により変化）の屋根付きの木製掛樋となっていて、前後の盛土内の板張り水路と連続した構造を持っていた（飯島義雄2014）。当初の架橋から昭和元年（1926）の廃止時まで記録が追えるだけで6回、ほぼ同形式での更新（掛替）がなされ、そのうち寛政～天保年間（1789～1844）には14、5年の間隔であった（鳥海さやから2010）。後述の見沼代用水での実績や記録の散逸などを考慮すれば、この程度の更新間隔が木造施設では通常のペースではないかと考えられる。
- 5 石造橋のデータについては、馬場俊介（2012）および上塚尚孝（2016）による。橋の諸元や建造年といった基本的な数値でも両者で一致しないものがあり、文脈に応じて選択したが、前者を優先させる結果となった。
- 6 以下、見沼代用水の歴史的経緯については、見沼代用水土地改良区（1957）および佐藤俊郎（1982）による。
- 7 徳島堰については、三枝善衛（1959）および大熊孝（2018）による。
- 8 十二貫野用水については、牧隆泰（1958）、下新川郡役所（1909）、十二貫野用水土地改良区（1985）および佐藤寛ら（1997）などによる。
- 9 小田堰については、紀の川農業水利史編纂委員会（1967）、橋本市史編さん委員会（1974）および大畑才蔵全集編さん委員会（1993）などによる。
- 10 馬頭井堰については、南部長恒（1834）による。
- 11 辰巳用水については、兼六園全史編纂委員会他（1976）、橋本確文堂企画出版室（1997）、青木治夫（2001）、金沢市埋蔵文化センター（2009）、および池本敏和ら（2016）などによる。
- 12 辰巳用水サイホンについて、金沢市埋蔵文化センター（2009、以下、文献①という）は「木管はほとんど地表に埋められていたが、1カ所だけ地上に露出している部分があった（のちに埋設した）。伏越の最下部にあたる石川門前土手の部分である。そこでは、非常に大きい水圧を受けるため、埋めておくだけでは木管が破裂する恐れがある。この部分はやむを得ず、笕（地上に架設した木管）を土手の中央において固定し、水圧に耐えるようにするとともに、漏水の発見を容易にしたと思われる」としている。この見解は、株式会社橋本確文堂企画出版室（1997、以下、文献②という）が「土手上的木樋に入念な漏水防止対策を考え、初め笕の様に土手上に置いて固定し、経験を積んでから、地中に埋設して固定したと考えられる」とした見解を踏襲したものである。

根拠として同書は、後藤彦三郎『文禄年中以来之等旧記』（1825）にある「昔蓮池御庭の辰巳上水此御門台之上の笕二而、…（中略）…鶴之丸江水上り申候。此笕相止、いつ比より埋樋二相成申候哉伝承不仕。埋樋ハ宜工夫、重水之事なれば幾重ニ茂水ヲかくし通シ申義ニ候哉。丸松木ヲ中繰シテ、上水無滞通シ候ハ明和之比ニ而候歟。…（中略）…右上水笕より通シ候者、寛永九年十年之内ニ御座候歟」（同書より引用）の記事を挙げる。

また、兼六園全史編纂委員会他（1976、以下、文献③という）は、笕とは通常二つ割りにした竹の節を抜いた樋を意味するが、上方の開いた管では水圧のかかるサイホンには使えないから、「木製の四角い樋（笕）の上部を厚板で覆った密閉管」であろうとしている。平成9（1997）年には、石川門前土橋（土手）の発掘調査で、底と両側、蓋に厚さ8cm内外の板を用いて、外径を約25cm角とした木樋が出土した。

文献③の推測は、上記文書と同じ著者の『金城深秘録』（1825）を根拠としていた。ほぼ同文ながら若干の異同があり、埋樋にした事実に対して、文献②では大事な水を隠すことにその目的があったように記すのに対し、文献③では「埋樋ハ甚宜工夫大事之ならば左もあるべき事に候」と追認しただけのような書きぶりである。

いずれにしても、両方の史料から読み取れるのは、寛永年間（1624～45）には笕であり、埋設されたのは年代不詳、松丸太をくり抜いた管にしたのは明和（1764～72）の頃であるという経緯のみで、問題は「笕」の正体いかに関わるが、それは文中のどこにも明らかではない。発掘調査も、木樋が土手に埋設されていたことを明らかにしただけで、笕が「地上に架設した木管」（ないし木樋）である物的証拠ではなかった。よって、露出方式のサイホンということが確実だったとは必ずしもいえない状況である。

それにしても、上記の文献①の文言は意味不明である。漏水発見の容易さは別問題として今はおく。木樋はなぜ埋設されたのか。『文禄年中以来之等旧記』が言うように大事な水を隠すためという理由は理解できなくはない。『金城深秘録』のように「工夫」の手立てと見るのも、感覚的に頷ける。だが、文献①のように、地表配管の方が確実であれば何も埋設する必要はない。

そもそも管の強度について見れば、水圧にはサイホンの入口と最低位の伏越部（ここでは石川門前土手）との比高差が問題で、同一標高であれば地表であろうが地中であろうが管にかかる水圧は同じであるから、地中で破裂するなら地表でも破裂するはずである。その方法は不明にせよ、地表で固定しただけでは管の強化にはならない。位置を固定するのなら、むしろ埋設した方がはるかに確実であろう。ということで、文献②の地表で経験を積んでから埋設した、という言説も含めて、何をしたのかさっぱり不明で、しかも現実とかけ離れた文言といわざるをえない。

- 13 乱暴な議論であることを承知のうえで、円形管としてモデル化して考える。現在のパイプラインの設計（農林水産省農村振興局2009）では、撓む性質を持つ素材の管（とう性管＝撓性管）の必要管厚（ t ）は、水位差（＝呑口と伏越部の比高差、 H ）、管の内径（ D ）と素材の許容引張応力度（ σ_a ）によって、

$$t \geq H \cdot D / 2 \sigma_a$$

で求めている。この式を援用した場合、辰巳用水の内径をφ8cm、通潤橋をφ30cmとし、樹種の違いを問わず同じ比高差とすると、通潤橋では辰巳用水の4倍ほどの管厚が必要という計算になる。最初の試験施工時には2尺7寸(82cm)角であったとされているから、さらに差が広がることになる。もちろん、現代の鉄やプラスチック製という均質な素材の完全な円形管に対する計算式であり、形状も材質も異なる近世の施設にそのまま適用できるわけではない。また、埋設の有無など、他にも働く要因があるだろうが、両者の差異、特に辰巳用水の大きな高低差での成功を説明する要因の一つといえるのではないか。

ちなみに、同じく農業用水で相当な流量を要する十二貫野用水・竜ノ口用水について、牧(1958)は、「水圧3.3kg/cm²」としている。しかし、これは史料に記す下げ管の18間(32.6m)を鉛直に下ろした形状での、ありえない水圧であり、谷地形に沿って斜面に管を埋設する伏越ではこの値にはならない。斜辺が33mなら、斜面勾配は不明ながら仮に1割(1:1)とすれば水位差は23.6m、2割(1:2)で14.8mとなり、それでも非常に高さには違いない。そこに現在残る石管の口径φ21cmと同程度の木樋・木管を通すとすれば、上記のことからかなりの板厚が必要となったはずである。だが、史料には下げ管と上げ管17間(30.8m)の数値があるだけで、他には石管に布設替えされたという記録しかなく、それ以前の木樋の構造・寸法などは不明である。

〈参考文献〉

- ・青木治夫 2001年『辰巳用水にみる近世初期の先端技術』金沢大学博士論文
- ・赤磐市教育委員会編 2010年『田原用水水路橋(石の懸樋): 県指定文化財』赤磐市教育委員会
- ・蘆田伊人編集校訂 1996年『新編武蔵風土記稿 第7巻』(大日本地誌大系13) 雄山閣
- ・安達 満・林 敬・知野泰明・山口祐造校注 1997年『川除仕様帳・積方見合帳・治河要録・通潤橋仕法書』(日本農書全集65 開発と保全2) 農山漁村文化協会
- ・荒木正夫・椿東一郎 1995年『水理学演習 下巻』森北出版
- ・飯島義雄 2014年「八坂用水の検討: 女堀未完成後における受益想定地・粕川流域の右岸での対応」群馬県埋蔵文化財調査事業団研究紀要32
- ・池本敏和・北浦勝・玉井信行・山本光利・安達實 2016年「近世辰巳用水の布設状況に関する土木工学的研究」土木史研究 講演集36
- ・石川県立埋蔵文化財センター編 1997年『金沢城跡石川門前土橋(通称石川橋)発掘調査報告書1』石川県立埋蔵文化財センター
- ・伊勢崎市編 1993年『伊勢崎市史 通史編2(近世)』伊勢崎市
- ・今村直樹 2020年『近世の地域行財政と明治維新』吉川弘文館
- ・上塚尚孝 2016年『熊本の目鑑橋345』熊本日日新聞社
- ・大石久敬 1794年『地方凡例録』(大石慎三郎校訂1995年『地方凡例録』東京堂出版)
- ・大熊 孝 2004年『技術にも自治がある-治水技術の伝統と近代-』農山漁村文化協会
- ・大熊 孝 2018年「甲州・徳島堰と御勅使川扇状地の将棋頭の役割~釜無川・御勅使川の治水システムを再考する~」土木史研究 講演集38
- ・大畑才蔵全集編さん委員会編 1993年『大畑才蔵』橋本市
- ・金沢市埋蔵文化センター編 2009年『辰巳用水調査報告書』金沢市文化財紀要257
- ・神吉和夫 2021年「近世の井戸を水源とする都市給水システムを考える」(ミツカン水の文化センターオンラインセミナー(2021.11.20開催)資料集)
- ・菊地利夫 1958年『新田開発 上・下』古今書院
- ・菊地利夫 1986年『続・新田開発 事例編』古今書院
- ・紀の川農業水利史編纂委員会編 1967年『紀の川農業水利史』和歌山県、
- ・黒澤元重 1691年『鉾山至宝要録』(三枝博音編1978年『日本科学古典全書5 採鉾冶金2』朝日新聞社)
- ・群馬県埋蔵文化財調査事業団編 1988年『三ツ寺I遺跡: 古墳時代居館の調査(上越新幹線関係埋蔵文化財発掘調査報告書 第8集)』群馬県埋蔵文化財調査事業団

- ・兼六園全史編纂委員会・石川県公園事務所編 1976年『兼六園全史』兼六園観光協会
- ・三枝善衛編1959年『徳嶋堰』徳嶋堰組合
- ・斎藤長秋編・長谷川雪旦画 1834年『江戸名所図会』（博文館版1893年：国立国会図書館デジタルコレクション）
- ・佐藤俊郎 1982年『利根川：その治水と利水』論創社
- ・佐藤信淵 1780年『隄防溝洫志』（瀧本誠一編1992年『復刻版 佐藤信淵家学全集 上巻』岩波書店）
- ・佐藤寛・越前久松著・中央学院大学地方自治研究センター編 1997年『十二貫野用水：黒部川扇状地における農業用水』丸善プラネット
- ・島 武男・小川茂男・吉迫 宏 2004年「通潤用水地区を事例とした耕作放棄地の分類と要因分析」農村計画論文集6
- ・島 武男・久保田富次郎・廣瀬裕一・田中尚人・古賀由美子 2011年「歴史的水利システムである通潤用水を事例とした水管理の再考」農業農村工学会誌79- 9
- ・島 武男・廣瀬裕一・久保田富次郎・吉永育生・後藤巖寛 2016年「白糸台地の棚田景観を形成する水利利用の歴史的変遷に関する事例分析」農業農村工学会論文集84- 3
- ・島 武男・田中尚人・廣瀬裕一 2020年「通潤用水の施設管理における技術的工夫の解明」土木学会論文集D 2（土木史）76- 1
- ・下新川郡役所編 1909年『下新川郡史稿上巻』（1972年復刻版、名著出版）
- ・十二貫野用水土地改良区編 1985年『十二貫野用水誌』十二貫野用水土地改良区
- ・『水土を拓く』編集委員会・農業農村工学会 2009年『水土を拓く－知の連環－』農山漁村文化協会
- ・陶山訥庵 1722年『水利問答』（瀧本誠一編 1928年『日本経済大典 第7巻』史誌出版社）
- ・諏訪市史編纂委員会編 1988年『諏訪市史 中巻 近世』諏訪市
- ・高木強治・小林安康・浪平 篤 2003年「遺構「鼻ぐり井手」の水理特性に関する実験的研究」農業土木学会論文集71- 4
- ・高階隆兼 1309年『春日権現験記絵 第9軸』（板橋貫雄模写1870年：国立国会図書館デジタルコレクション）
- ・寺村 淳 2016年「明正井路一号幹線第二拱石橋に関する一考察－鉄管逆サイフォン石造アーチ水路橋と矢島義一－」土木学会論文集D 2（土木史）72- 1
- ・土木学会編1936年『明治以前 日本土木史』土木学会
- ・鳥海さやか・黒津高行 2010年「享和期の伊勢崎藩における八坂樋の復原」2010年度日本建築学会関東支部研究報告集
- ・内務省土木局編（高津儀一著）1881年『土木工要録 天』、『同 附録（1冊）』有隣堂
- ・南部長恒 1834年『疏導要書』（農業土木学会古典復刻委員会編；正木裕美・吉永安俊解題 1992年『農業土木古典選集 第Ⅱ期12 九州編』日本経済評論社）
- ・日本水道史編纂委員会編 1967年『日本水道史』日本水道協会
- ・農業農村工学会編 2019年『農業農村工学標準用語事典』農業農村工学会
- ・農林水産省構造改善局 1995年『土地改良事業計画設計基準 設計「頭首工」』農業土木学会
- ・農林水産省農村振興局企画部事業計画課監修 2007年『農業農村整備事業における景観配慮の手引き』農業土木学会
- ・農林水産省農村振興局 2009年『土地改良事業計画設計基準設計「パイプライン」』農業農村工学会
- ・農林水産省農村振興局 2015年『土地改良事業計画設計基準設計「水路工」』農業農村工学会
- ・橋本確文堂企画出版室編 1997年『特別名勝兼六園：その歴史と文化 本編』橋本確文堂
- ・橋本市史編さん委員会編 1974年『橋本市史 中巻』橋本市役所

- ・馬場俊介 2012年『近世以前の土木・産業遺産』（ウェブサイト<https://www.kinsei-izen.com>）
- ・古島敏雄・安芸皎一校注 1972年『近世科学思想上』（日本思想大系62）岩波書店
- ・文化財建造物保存技術協会編 2020年『重要文化財通潤橋保存修理工事（災害復旧）報告書』山都町
- ・本田彰男 1970年『肥後藩農業水利史－肥後藩農業水利施設の歴史的研究－』熊本県土地改良事業団体連合会・熊本県普及事業協議会
- ・牧 隆泰 1947年『新編 農業土木学（第6版）』地球出版
- ・牧 隆泰 1958年『日本水利施設進展の研究』土木雑誌社
- ・松本寿三郎・工藤敬一・猪飼隆明・板楠和子 2012年『熊本県の歴史』山川出版社
- ・松本 登 1986年「三春の引水屋」（網野善彦ら編『技術と民俗（下）－都市・町・村の生活技術誌－』（日本民俗文化大系14）
- ・三田村鳶魚 1942年『安松金右衛門：玉川上水建設者』電通出版部
- ・見沼代用水土地改良区 1957年『見沼代用水沿革史』見沼代用水土地改良区
- ・矢部町史編さん委員会 1983年『矢部町史』矢部町史編さん委員会
- ・山都町教育委員会 2013年『通潤用水調査報告書』山都町文化財調査報告書第4集
- ・吉村豊雄 2013年『日本近世の行政と地域社会』校倉書房
- ・吉村豊雄 2014年『棚田の歴史－通潤橋と白糸台地から－』農山漁村文化協会
- ・若狭徹 2007年『古墳時代の水利社会研究』学生社