

「観る配管の歴史」シリーズ②

観る 水路と管の歴史

— 土・石・鉛・木の管 —

温 故 知 新

2023

(一社) 配管技術研究協会

編・制作 西野 悠司

64 シート

目次

1. はじめに
2. 非鉄系の水路・管の進化
3. 古代の土・陶の管
4. 古代ローマの上水道
5. 古代ローマの下水道
6. 古代ローマの石管
7. 古代ローマの鉛管
8. 中世の鉛管
9. 近世パリの上水道
10. 近世パリの下水道
11. 古代から近代 木製の管
12. 近世・近代 日本の上・下水道
13. 近代のコンクリート管
14. 出典

1. はじめに

- 本PDF、「観る水路と管の歴史 ー土・石・鉛・木の管ー」は、配管技術研究協会創立60周年記念として、2022年8月1日に出版された西野悠司編著「ものがたり 配管の歴史」の第1章上水道、第2章下水道、第4章非鉄管の歴史、の内容を軸として、その後収集した写真、図、絵を加え、目で見ると、Visual版として、作成したものです。
- 鉄系の管の歴史については、別のPDFで扱う予定です。
- 引用した出典は各画面あるいは文の最下段に朱字を以て、記号で表し、この記号は、本PDFの14. 出典一覧 の左端の記号と照合し、出典名を知ることができます。
- 本PDFに示す多くの図や写真はweb siteの“Wellcome Collection”というサイトに収蔵されている写真、絵画、に拠っています。このsiteに拠るものは、14. 出典において※を付けています。
また、web site “Internet Archive”のサイトに収蔵されている図、写真は14. 出典において ※ ※を付けています。

2. 非鉄系の水路・管の進化(1)

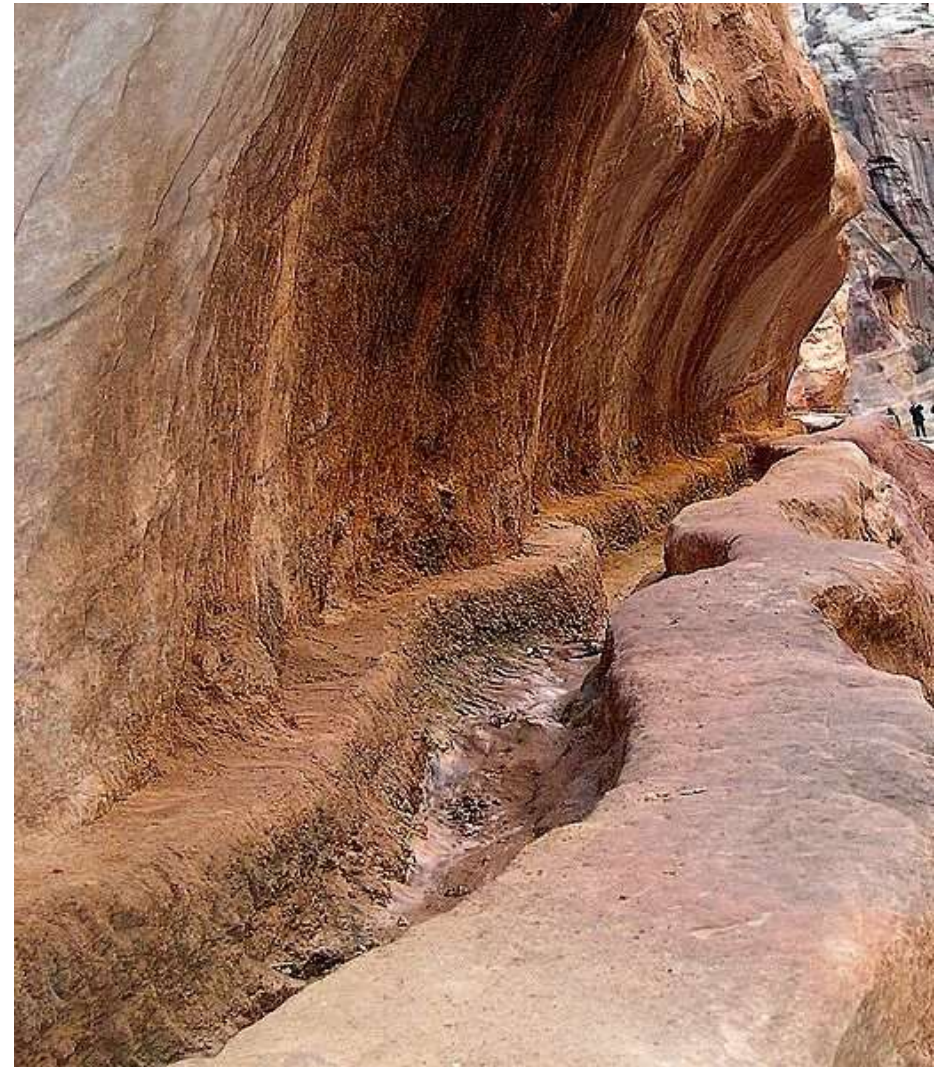
・水路や管は人が生きて行くうえでなくてはならないもので、住まいや道路と同じように、この世に最も早く登場した文明の利器のひとつであろう。

・水を運ぶ最も原初的なものは、地面や岩を掘ったり削ったりして作った溝であったと思われる。

・材料を使った管路としては、最も古いものの例として、中国で、紀元前20世紀竜山文化の史跡から発掘された陶管が挙げられる。

・紀元前18世紀の古代バビロニア王朝の王墓で土管が、また1900～1300BCのミケーネ文化のクレタ島で陶管が発掘された。

・中国で、遅くとも紀元前1世紀、竹をつなげた竹管が使われていた。



遺跡ペトラの溝状の水路 資③1
ペトラ遺跡はヨルダンの地にあり、BC1世紀ごろから栄えた。

2. 非鉄系の水路・管の進化(2)

- 古代ローマでは、紀元前6世紀ごろ、**石造の下水道**クローアカ・マキシマが建設され、紀元前4世紀に**石造の水道**(導水路)アッピア水道が建設された。この地方では豊富に石材が採掘された。
- 同時代の古代ローマで**鉛管**が製造され、市内の配水管に使われた。鉛管は毒性があるが、鑄造や加工のし易さ、耐食性に優れることから、近代に至るまで広く使われた。
- 中国の文明が伝わった日本では、飛鳥時代(7世紀頃)の遺跡から**土管**が見つかった。
- **木製の管**は古代ローマでも使用されたが、中世以降のヨーロッパ、特に英国で普及し、15世紀初めに、水車動力で**丸太**の中ぐり作業ができるようになった。(資④10 71頁)
- 木材の豊富な米国では、17世紀ごろから丸太の芯をくり抜いた管が使われ始めたが、19世紀中頃になると、細長い板を円筒状に組み、バンドで巻いた**樽管**が盛んにつくられ、20世紀初頭まで使われた。

以上のように、輸送手段の乏しかった非鉄の時代において、管の材料は、その地で豊富に産出する材料と深い関係があった。

3. 土・陶の管

- 土管、陶管(下記注参照)は、基本的には粘土を管状に成形して、焼いて作る。強度が小さく、自重や土圧に耐えられないので、径の大きな管はできない。
- 中国では、7000～5000BC、裴李崗(はいりこう)文化の時代に配水用の水路が存在した。管の歴史は、紀元前2000BC、竜山文化の時代の陶管が最も初期のものである。
- 古代バビロニア王朝(現在のイランとチグリス・ユーフラテスの沖積地に位置)では、紀元前1800BCに国王の墓の地下排水に土を焼いた管を使用した。
- 地中海沿岸では2000～1200BCにミケア文化が栄えたクレタ島、クノッソスの宮殿で噴水や 蛇口への配管に陶製の管が使われていた。



注:「陶管」と「土管」には広義と狭義とがあり、広義の「土管」と「陶管」はいずれも、粘土の管を素焼きしたものと釉薬を塗って焼いたものの双方を含む。それに対し、狭義の「土管」は素焼きした粘土の管を言い、狭義の「陶管」は粘土の管に釉薬を塗り、素焼きの土管より高い温度で焼成したものを言い、強度が高く、水を通さない。文献等において「土管」、「陶管」が広義なのか狭義なのか判断できない場合、文献の原文のままとした。

ダキアの土管(継手はソケット式) 資③2

ダキアは、現在のルーマニア地域で紀元前後に300年間弱、栄えた。

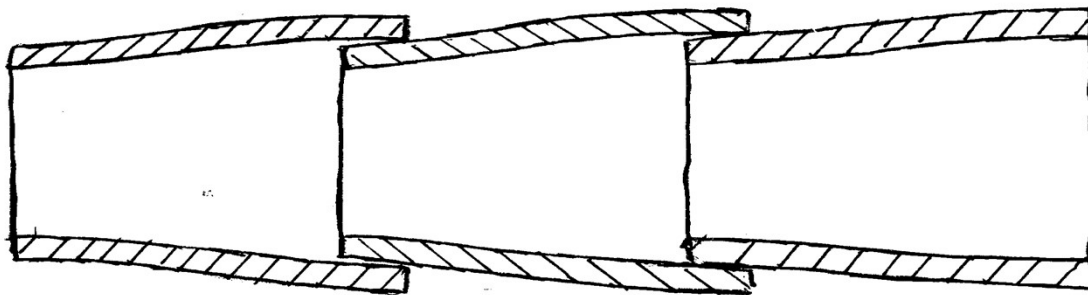
3. 土・陶の管-2

古代中国の土管

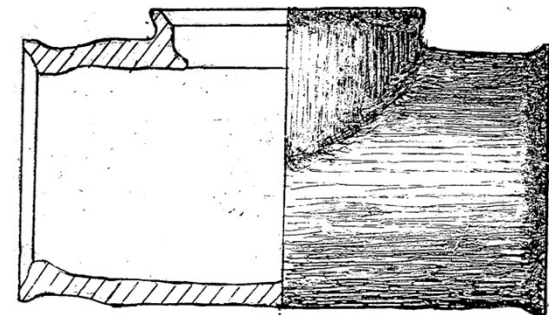
1980年代に河南省淮陽の平糧台で、殷の時代より古い、2500～2000BCの竜山文化の史跡が発見され、同時代の陶管が発掘された。南城門の路面の下に排水用として埋められていたものである。

直管部(下左の図)は、現物の写真から判断すると、直径30cm前後、単長50cm前後で、接続は管端部の口径に大小の差をつけ、口の大きい管に口の小さい管を差し込む方式。路面下の溝は、深さ、幅ともに74cmであった。

驚くべきことに、下右の図に示す陶製のT字管(中国では三通管と言う)も存在した。これを現代の陶製のT字管と較べると、枝管接続部の首の高さが現代のものより短いが、かなり似た形状をしている。



陶管の直管部



陶管のT字管(三通管)

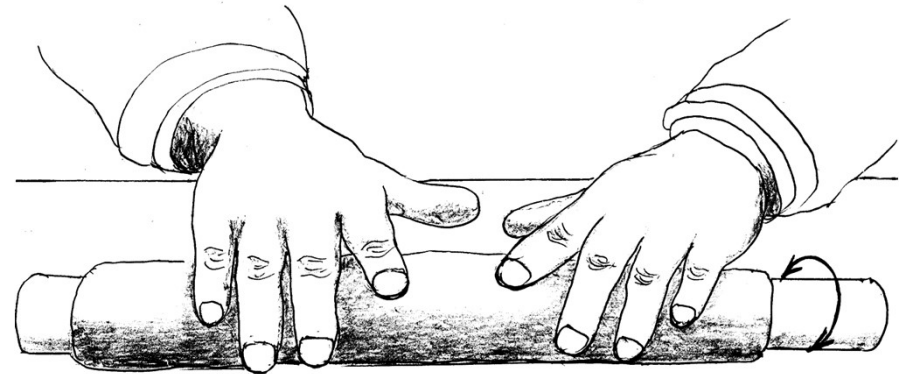
3. 土・陶の管-3

土管のつくり方

古代における、中国の土管の成形方法には、下図のような二通りの方法があった。比較的太い管は、紐づくり法で、細い管は、丸棒に粘土を巻き付けて、管の形に成形した。

製法： 紐づくり法(泥条盤築法)

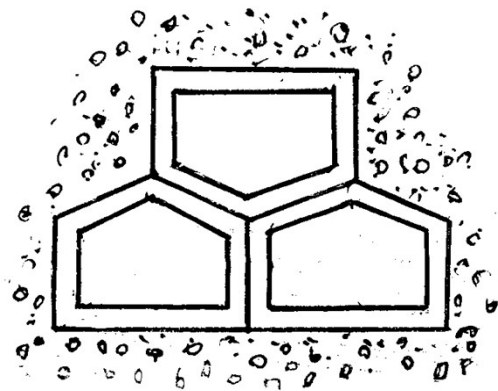
小径管：丸棒に粘土を巻き付け、転がす



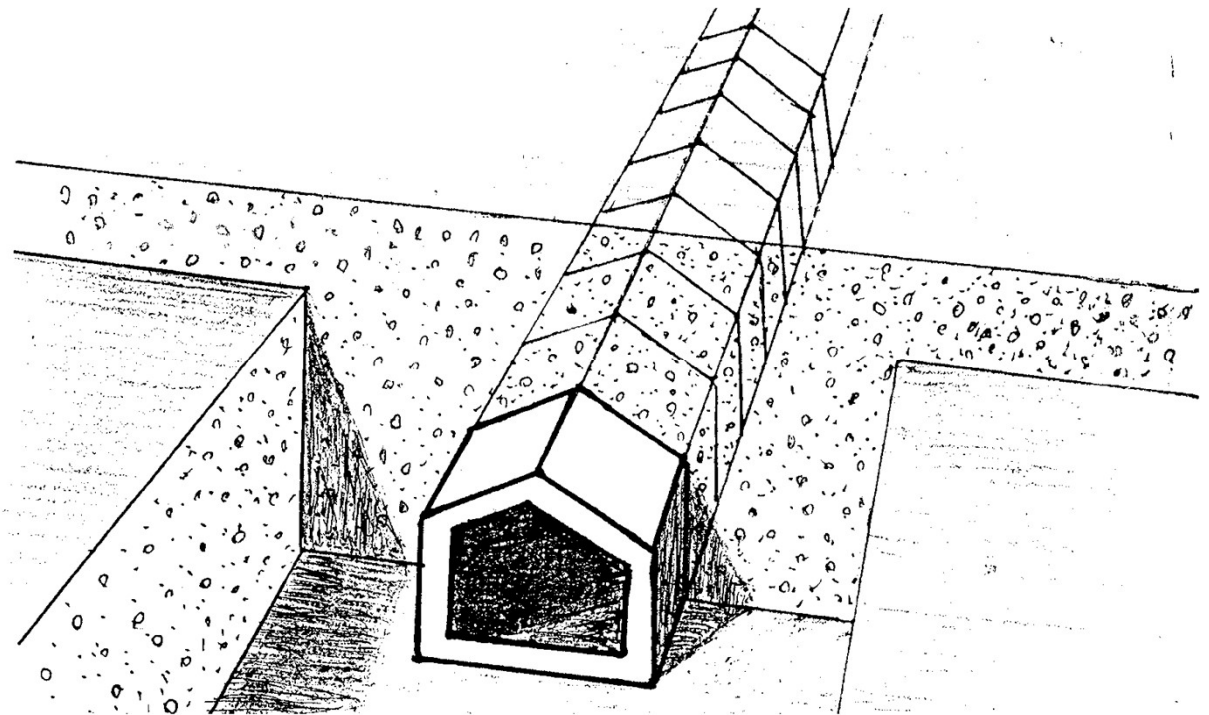
3. 土・陶の管-4 古代中国の五角形管

前漢(202BC~8年)の時代の都、長安の南にあった、皇帝のための広大な庭園、上林苑で、多くの地下排水管の遺跡が発見された。例えば、上林苑4号建築遺跡で下図のような五角形の陶管が発掘された。上林苑は、前漢より前の秦の時代においても庭園として使われていたところである。

五角形の形状は、これら管路を3列以上並行させる場合、左下の図に見るように、トレンチ(溝)の幅をとらない合理的な配置とすることができた。



管路の増設方法



7世紀



資③3

この土管は、飛鳥寺の西側を暗渠として南北方向に走っていた。飛鳥寺側で約40本、隣接の明日香村側で3本が発掘されたが、1本の暗渠でつながっていた。

大きさは、単長53cm前後、外径22cm前後、重さ23kg前後。

管の接続は、ソケット方式。差し込み部がかなり長い。

4. 古代ローマの上水道



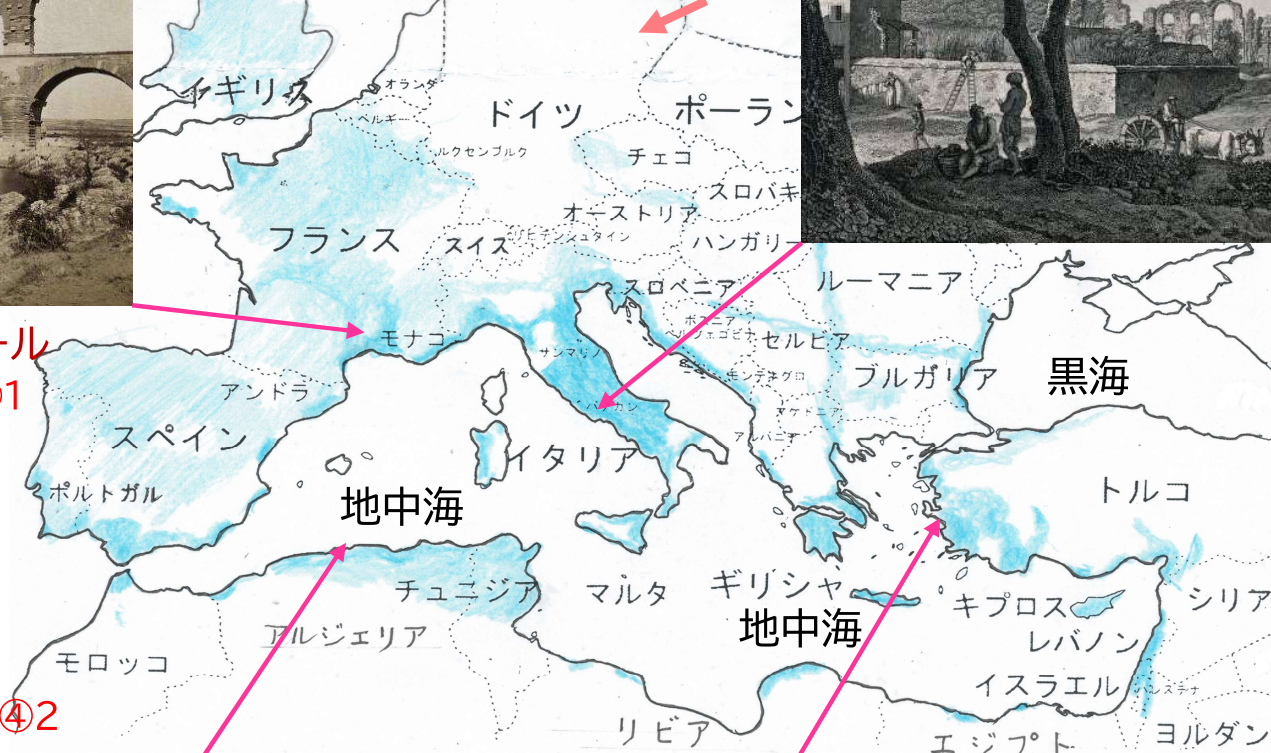
フランス・ニーム、ポンデュガール 資④1

する13の水道を建設した。また、帝国の版図である地中海沿岸に数知れぬ水道を建設した。

アルジェリア・シェルシェル 資④2



古代ローマ帝国の都、ローマは最盛期、人口000万を擁し、その生活用水などを得るため、郊外の泉や川を水源と



ローマ・パラティーノ 資④3

トルコ・エフェソス

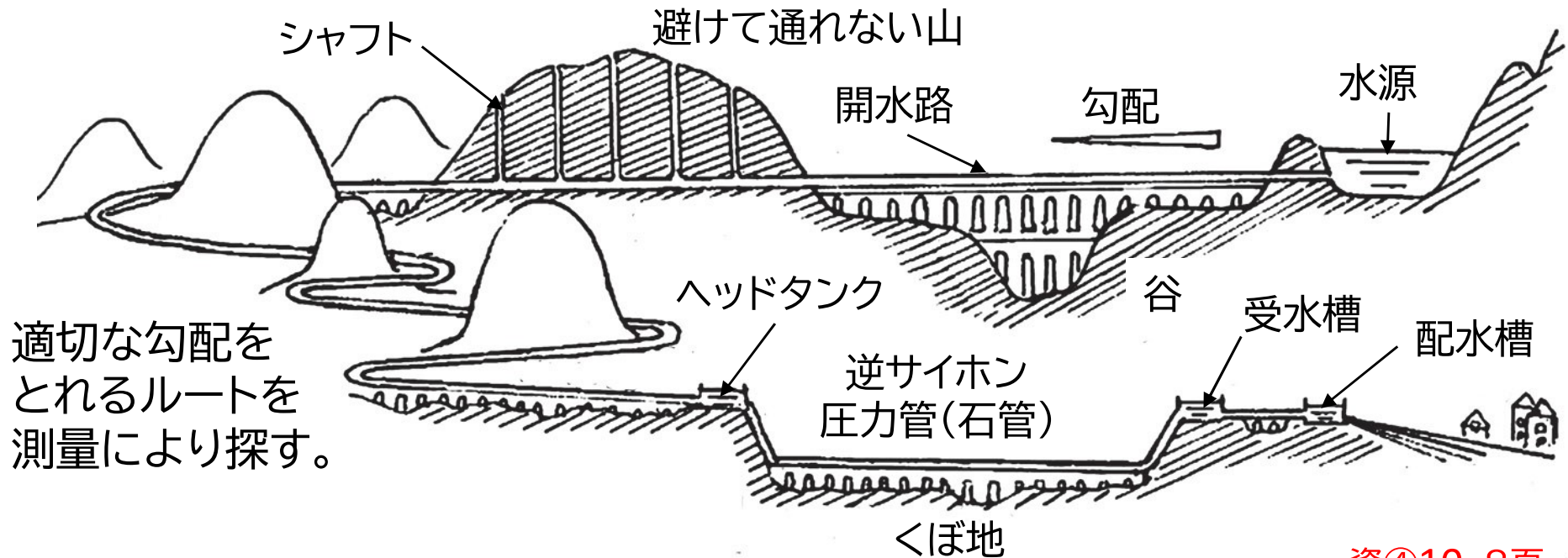
資④4

青色の地域に水道(橋)がある。色の濃いところは、密度が高い。原典The Atlas of Roman Aqueducts より作図。
https://www.romaq.org/images/map_overview.jpg



4. 古代ローマの上水道-2 重力流による水の輸送

・水源と消費地の高低差を利用し、勾配2/1000から6/1000程度の勾配で、水路を作る。この「重力流」による方法は、古代から現在に至るまで使われている。



資④10 8頁

- ・近代以前は、逆サイホン部を除き、石で造った凹形の開水路(水面のある流れ)に、石のふたをした。
- ・隧道には、隧道工事の能率化とベント、隧道保守などのため、一定間隔で、シャフト(立て坑)を設けた。
- ・橋が適さない谷やくぼ地では、逆サイホン(U字形管路)としたが、流体が内圧を持つので、管路は耐圧とする必要がある。逆サイホン入口、出口に水槽を設け、入口の“ヘッドタンク”の水位は出口の受水槽の水位より、若干高くする。

4. 古代ローマの上水道-3 現代のマツジオーレ門

古代ローマ市の水道の水源は市の東方に多く、それら水道の多くが、ローマ市を囲む城壁に作られたマツジオーレ門(テルミニ駅の南西約1.5km)を通過して市内に入った(図の門の向こう側が市内)。新アニオとクラウディア水道は門の上だけが遺され、その両側は失われている。城壁(昔は水道橋)の上にあるフェリーチェ水道(かまぼこ形のふたが見えている)は、1589年に、ローマ法王により建設されたもの。

フェリーチェ水道

新アニオ水道(87)

クラウディア水道(69)

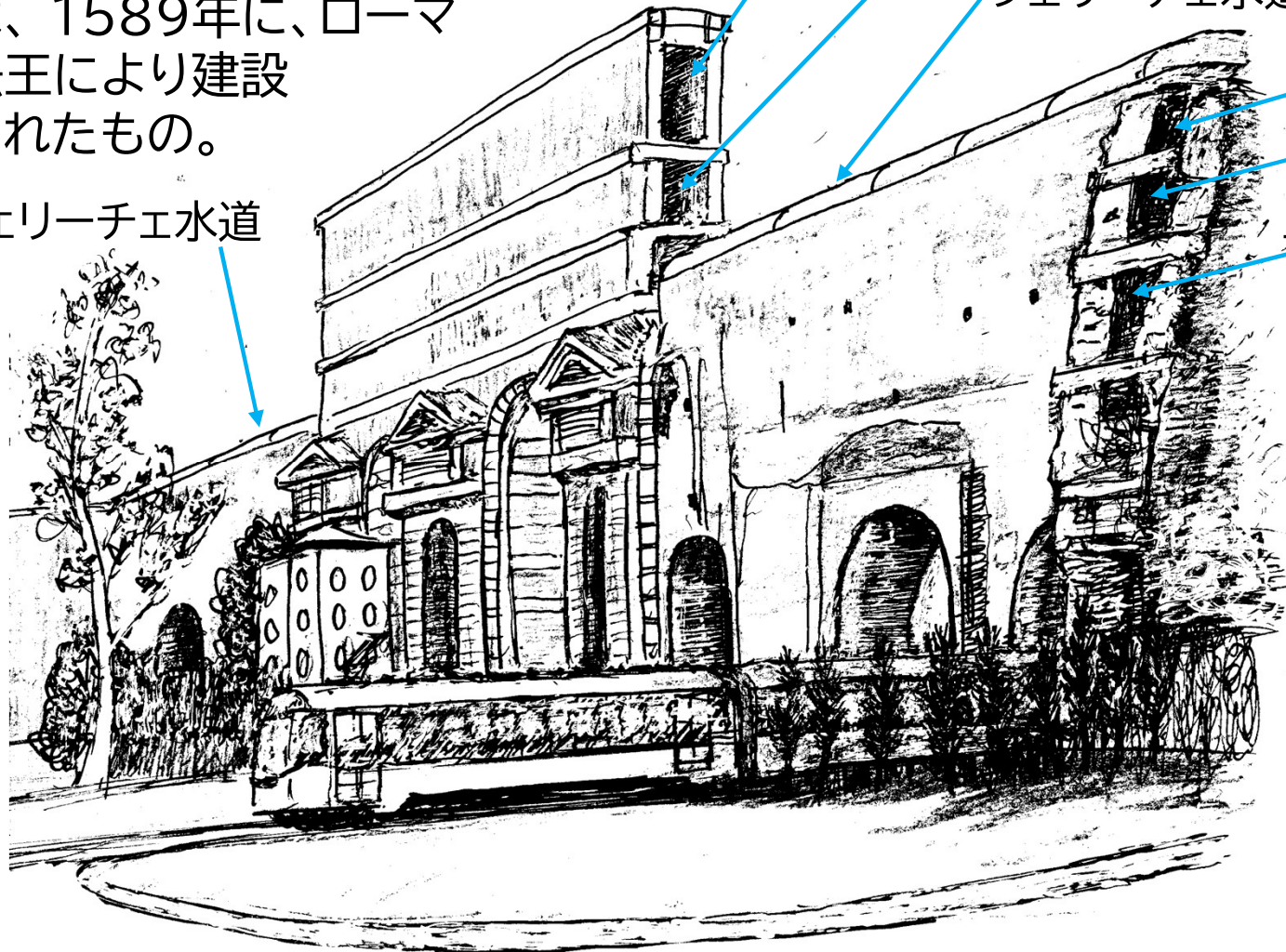
フェリーチェ水道(1589)

ユリア水道(33BC)

テプラ水道(125BC)

マルキア水道(凡そ142BC)

()内数値は建設年



4. 古代ローマの上水道-4 1820年の マッジョーレ門



1820年当時のマッジョーレ門。すでに門の両側部分の二つの水道は失われている。1589年に建設され、現在も残るフェリーチェ水道(前葉参照)は、ふたが失われているように見える。門内左右の二つの大きなアーチの中の、小さなアーチ門は現在存在しない。また、門の両側の2段アーチの列の上段アーチは、現在、その内部をコンクリートで埋められている(前葉の図参照)。

4. 古代ローマの上水道-5

ローマ水道橋公園(1)

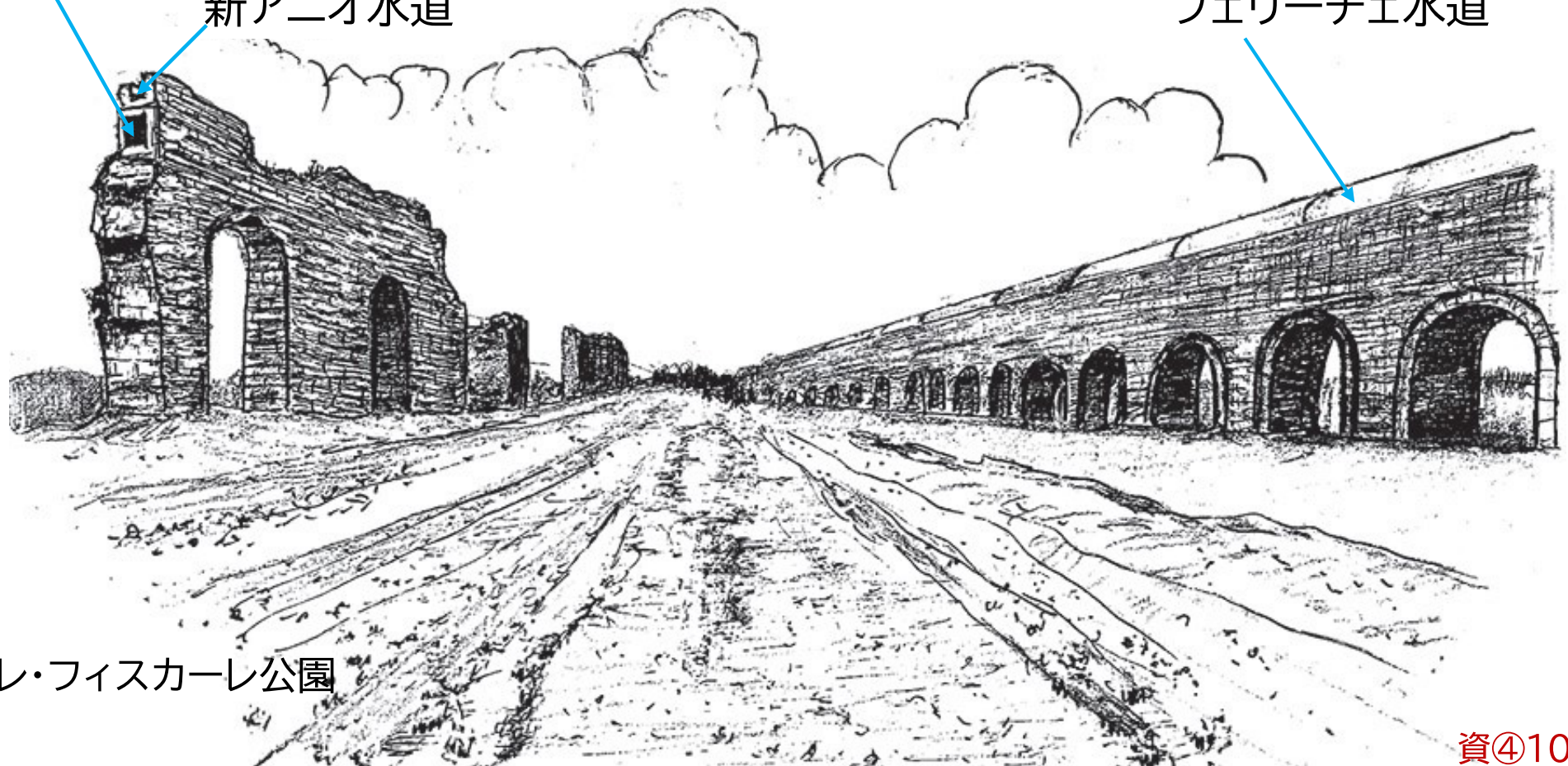
マッジョーレ門からフェリーチェ水道を約6km遡ったところにあるトッレ・フィスカレ公園とローマ水道橋公園において、今も残るクラウディア水道と新アニオ水道(2段積み)、そしてフェリーチェ水道を見ることができる。

2段積みのクラウディアと新アニオはかなり荒廃しているが、フェリーチェは局所的に損壊があるものの、ここからローマ市城壁のマッジョーレ門まで途切れなく続いている。水道公園では他に、マルキア、テプラ、ユリア水道の遺跡の一部も見ることができる。

クラウディア水道

新アニオ水道

フェリーチェ水道



トッレ・フィスカレ公園

4. 古代ローマの上水道-6 ローマ水道橋公園(2)

1900年頃の写真。後方はクラウディア、新アニオ水道。前方は、312~190BCに敷設と延長工事が行われたアツピア街道。場所はローマ水道橋公園あたりか。

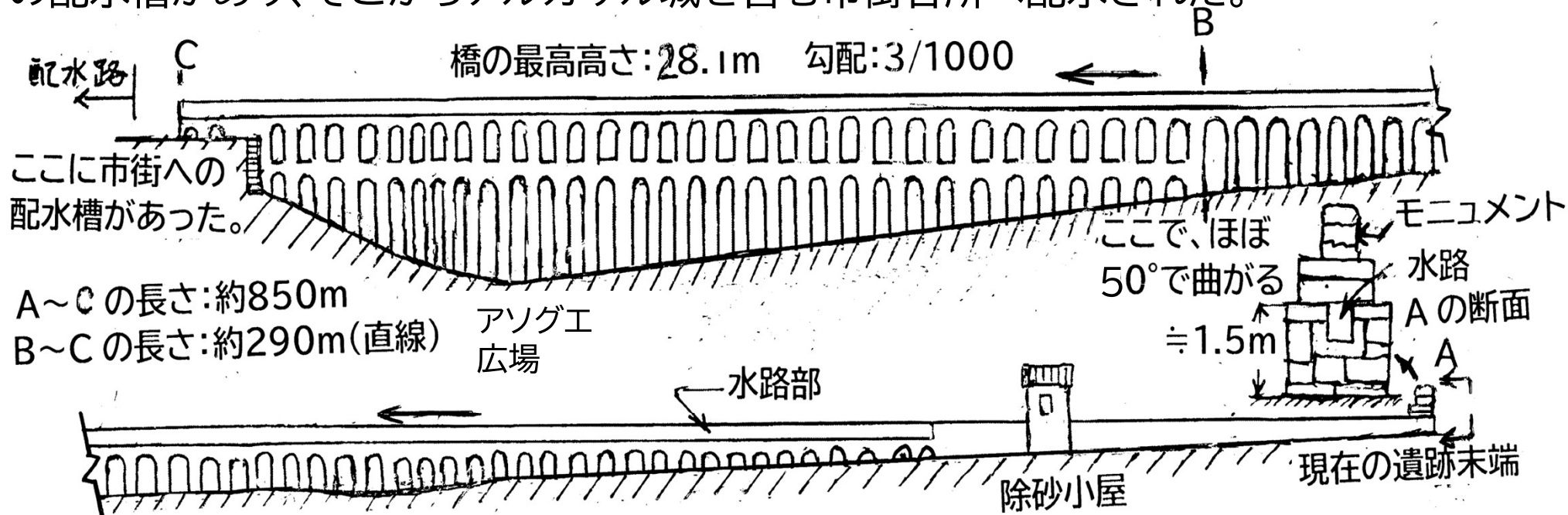


4. 古代ローマの上水道-7

セゴビアの水道橋

イベリア半島を支配していた古代ローマは、セゴビア北方の丘陵地を水源とし、セゴビア市内配水槽まで、14kmの水道を**紀元1世紀初め**に完成させた。セゴビアのガイドブックに必ず載っている、正面から見た優美な水道橋の位置(アソグエ広場)からその上流へ、約850mの長さの導水路が、後年の絶えざるメンテナンスのおかげで現存し、下図のようにほぼ完全な形で目にすることができる。この水道は19世紀半ばまで実際に使われていた。

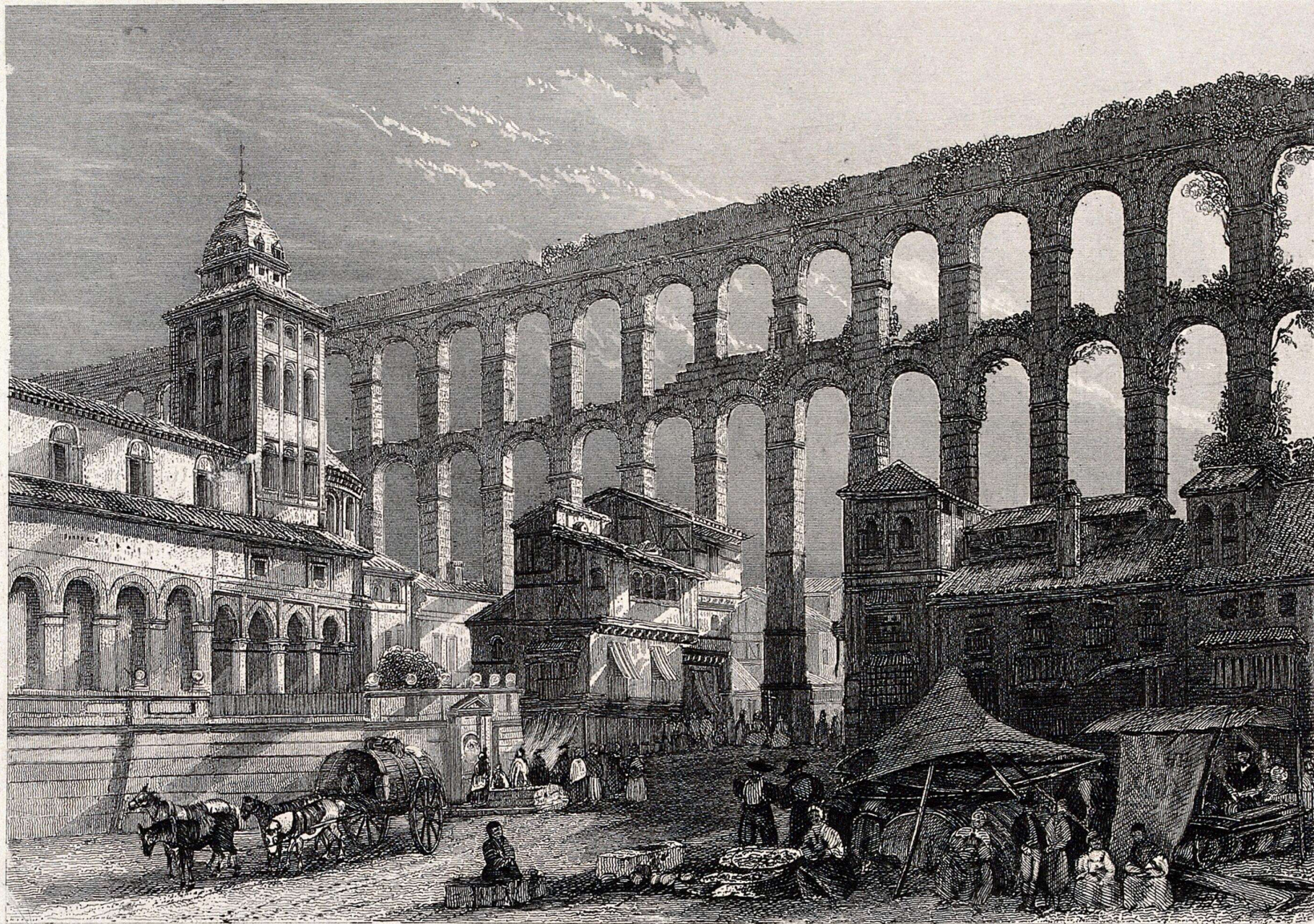
大規模な架橋に比べ、頂部にある水路は意外に小さく、高さ30cm、幅25cmで、上に薄い石のふたがしてある。架橋は下図の左端が終端で、ここに市街へ配水するための配水槽があり、そこからアルカサル城を含む市街各所へ配水された。



垂直方向の縮尺は水平方向の縮尺の約2倍としている。

導水路の途中一部を省略

4. 古代ローマの上水道-8 近世におけるセゴビア水道橋

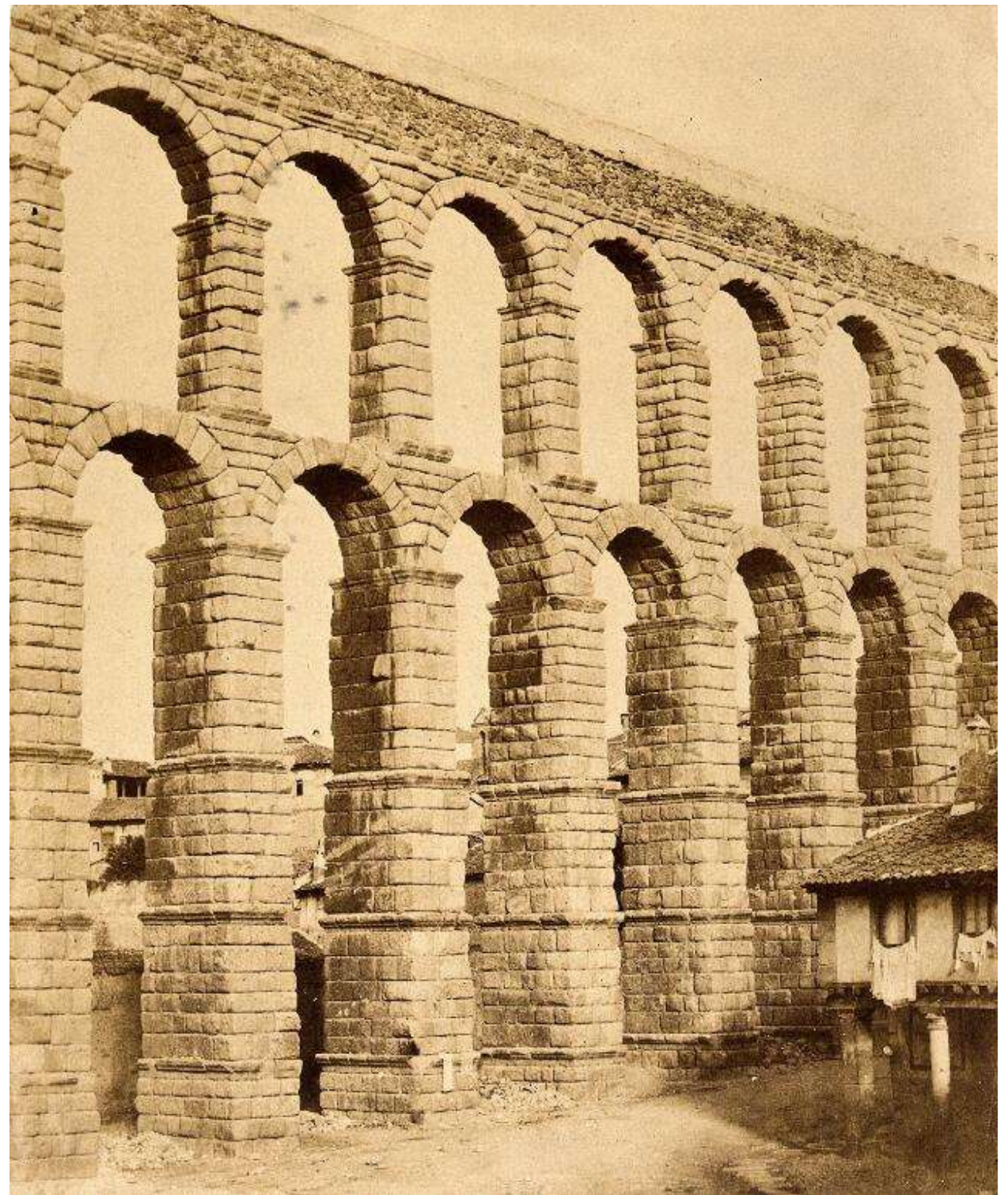


Engraving
(銅板版画)

GROSSE RÖMISCHE WASSERLEITUNG IN SEGOVIA

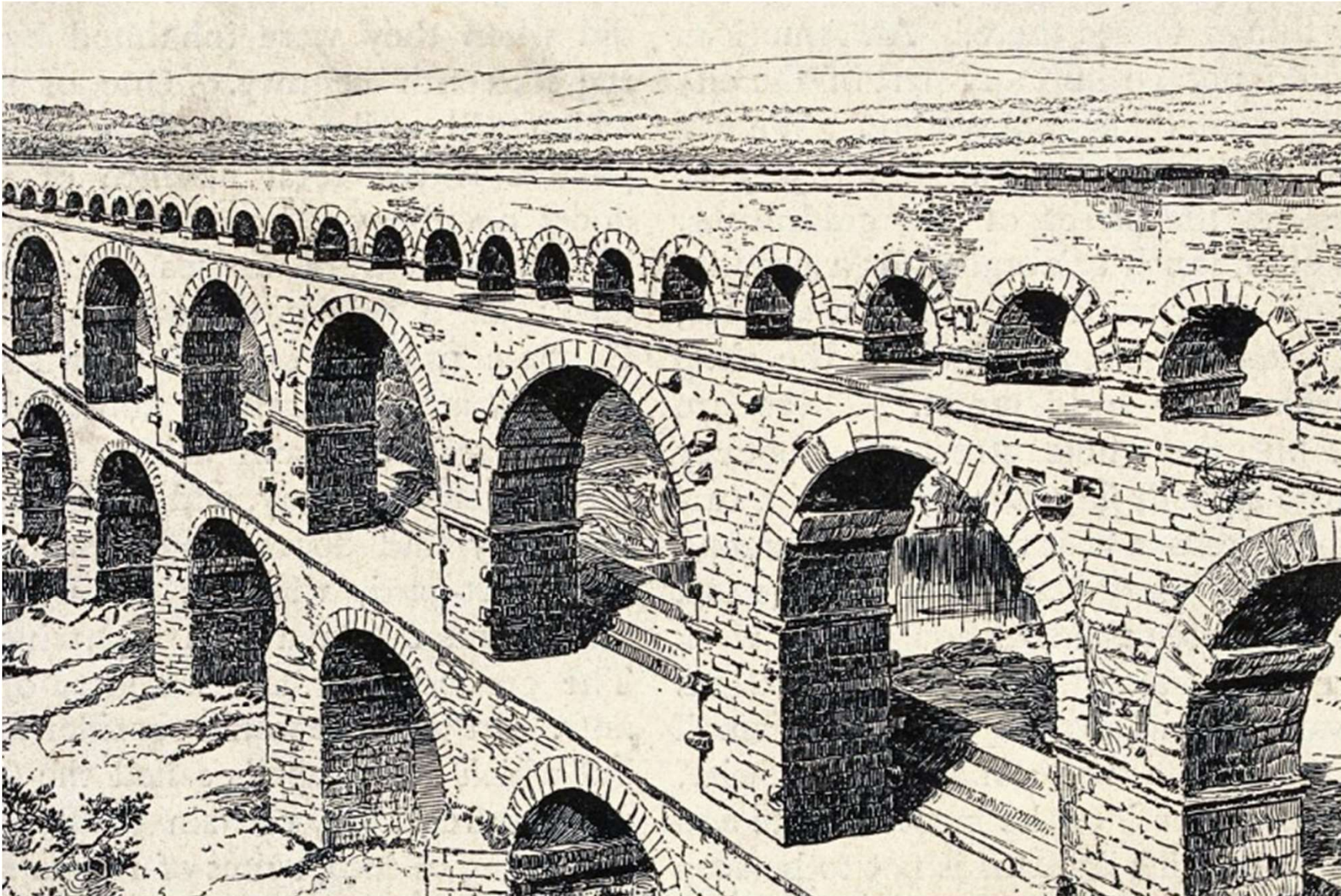
4. 古代ローマの上水道-9 19世紀中頃の セゴビア水道橋

19世紀中頃に撮影された写真で、最も背の高い部分の辺り。アーチの石の組み方がよくわかる。頂部の水路部分は、古代コンクリートが使われているようだ。



4. 古代ローマの上水道-10 フランス・ニースのポン・デュ・ガール水道橋

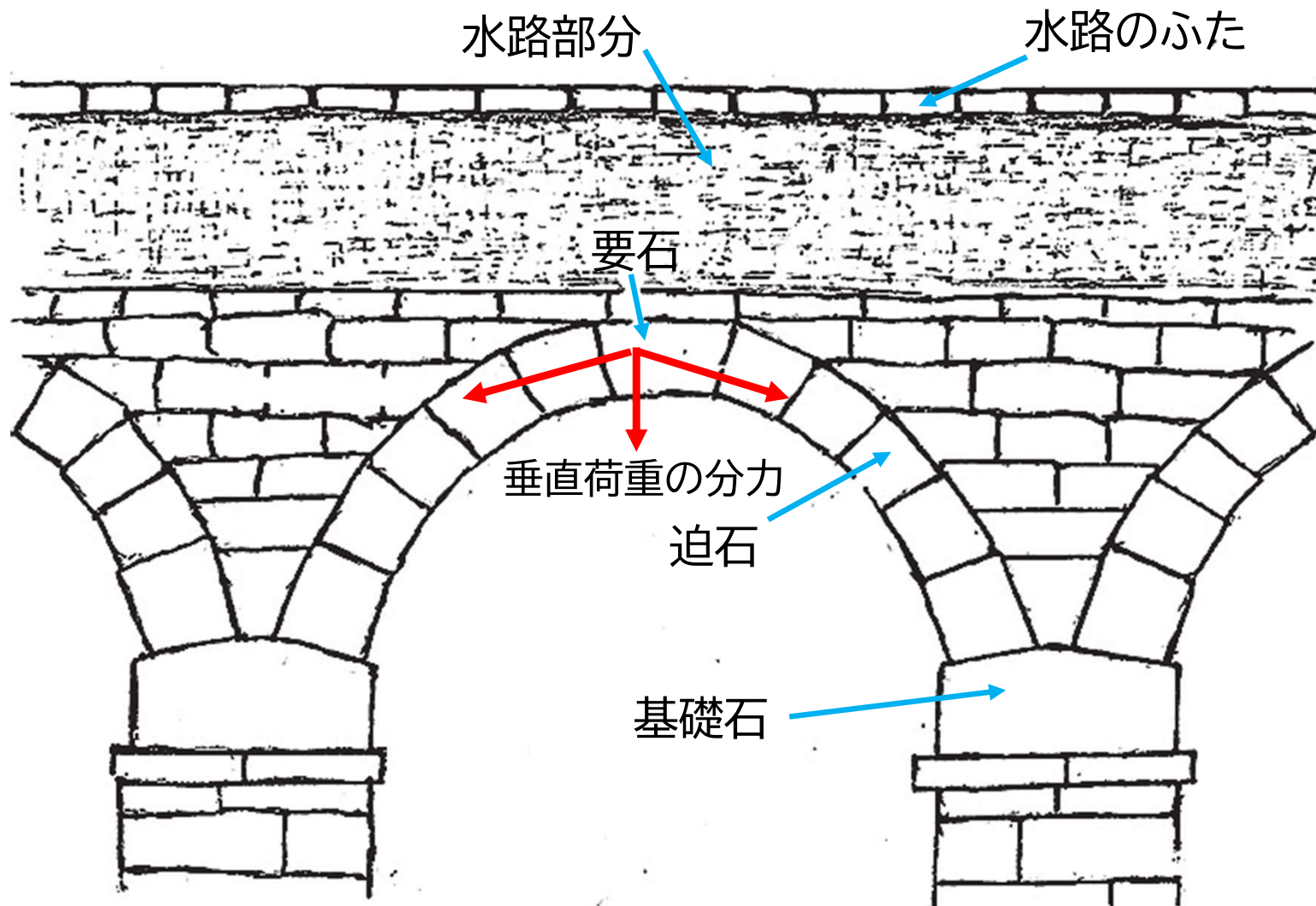
高さは下を流れるガルドン川の最低水位より 49m、3段のアーチ。下の層ほど、アーチの幅を広くして、橋全体の安定化を図っている。3層目の頂部に水路がある。



4. 古代ローマの上水道-9

水道橋と水路の構造(1)

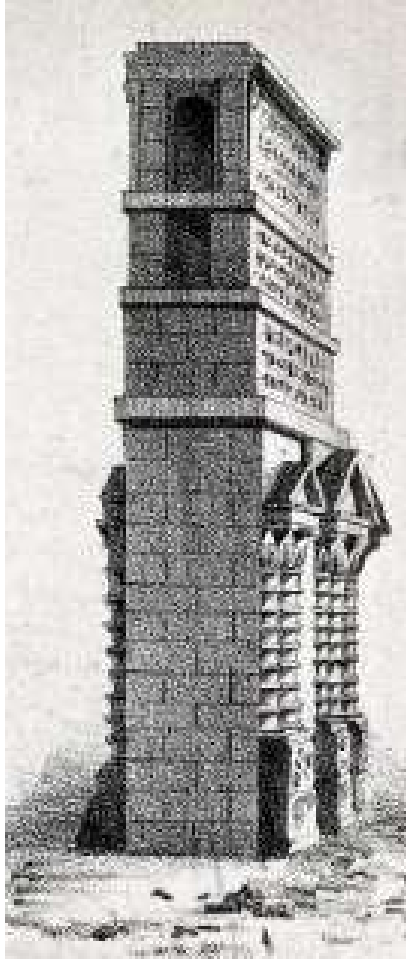
石は引っ張り荷重に弱い、圧縮荷重には強い。アーチは、石のこの性質を利用した優れた構造。水路部とアーチ上部の石の重量は、要石から基礎石まで弧状に連なる迫石(せりいし)に生じる圧縮荷重によって支えられる。



水路部とアーチ上部

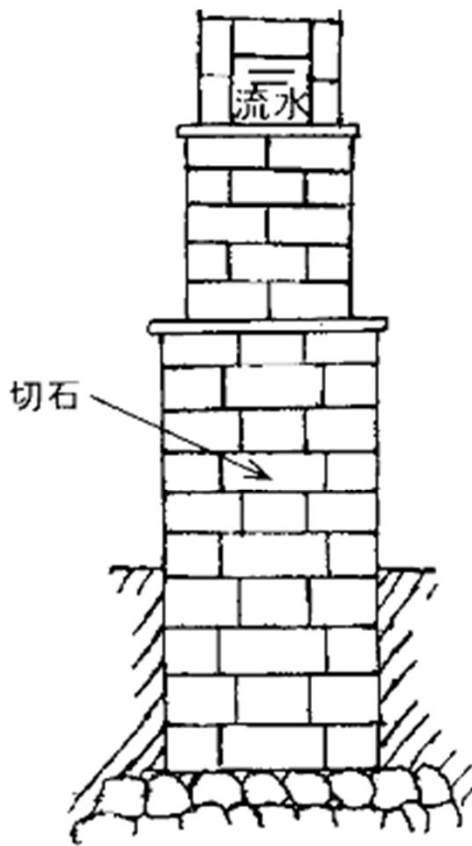
4. 古代ローマの上水道-10 水道橋と水路の構造(2)

水道橋の断面; 石・レンガを組んだ場合

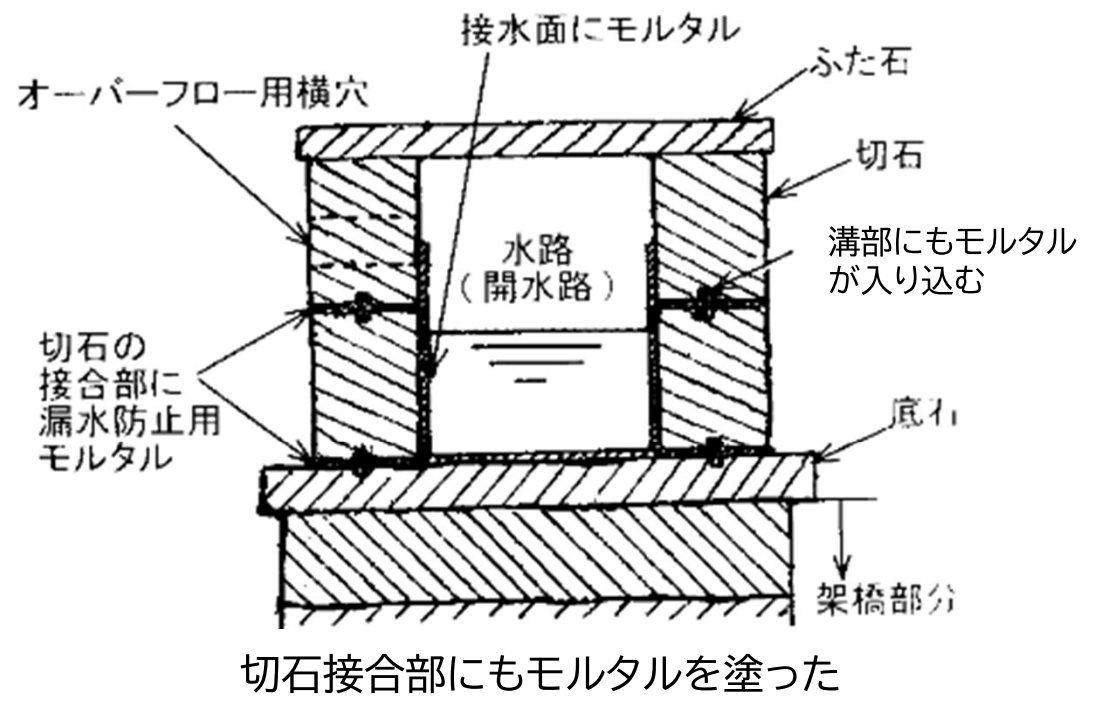


2段水路のリトグラフ

資④11



アーチ脚部の断面



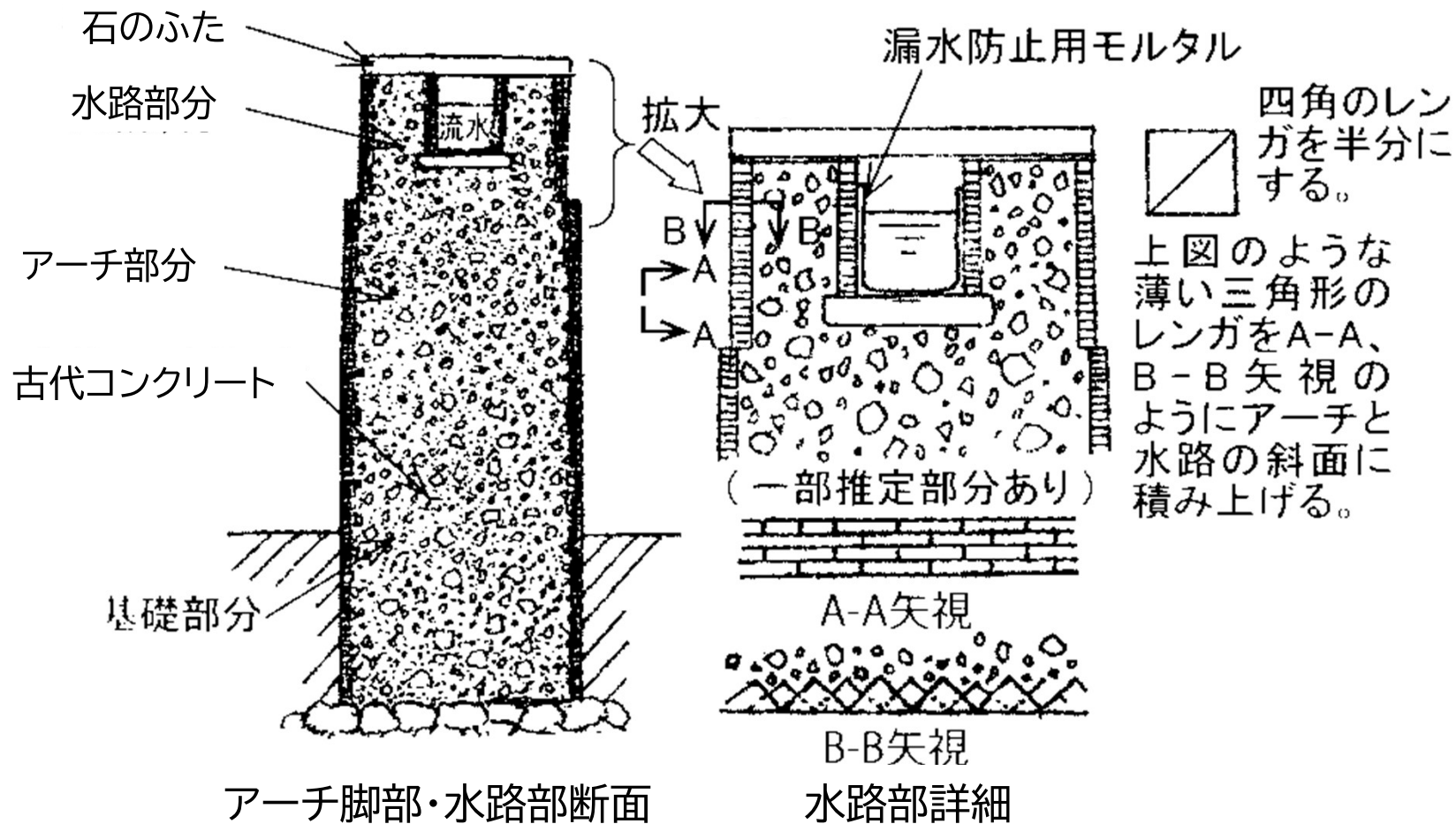
水路部の断面

資④10 10頁

4. 古代ローマの上水道-11 水道橋と水路の構造(3)

水道橋の断面； 古代コンクリ(碎石)を使った場合

古代コンクリート(ローマンコンクリートともいう)は、碎石やレンガの破片をモルタル(石灰岩、砂、水から作る)で固めたもの。砂は火山灰が用いられた。現代のコンクリートの寿命は100年のオーダーであるが、古代コンクリートは1000年オーダーの寿命がある。



アーチ脚部・水路部断面

水路部詳細

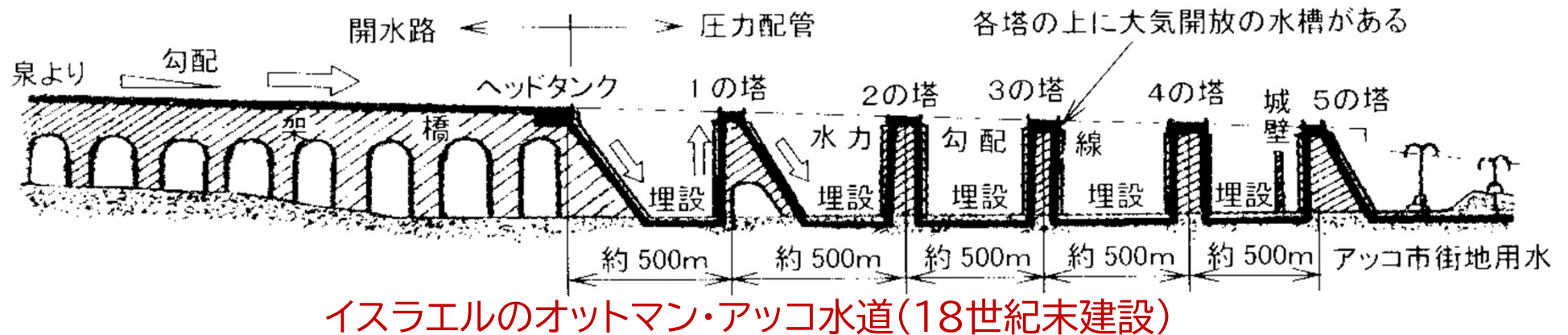
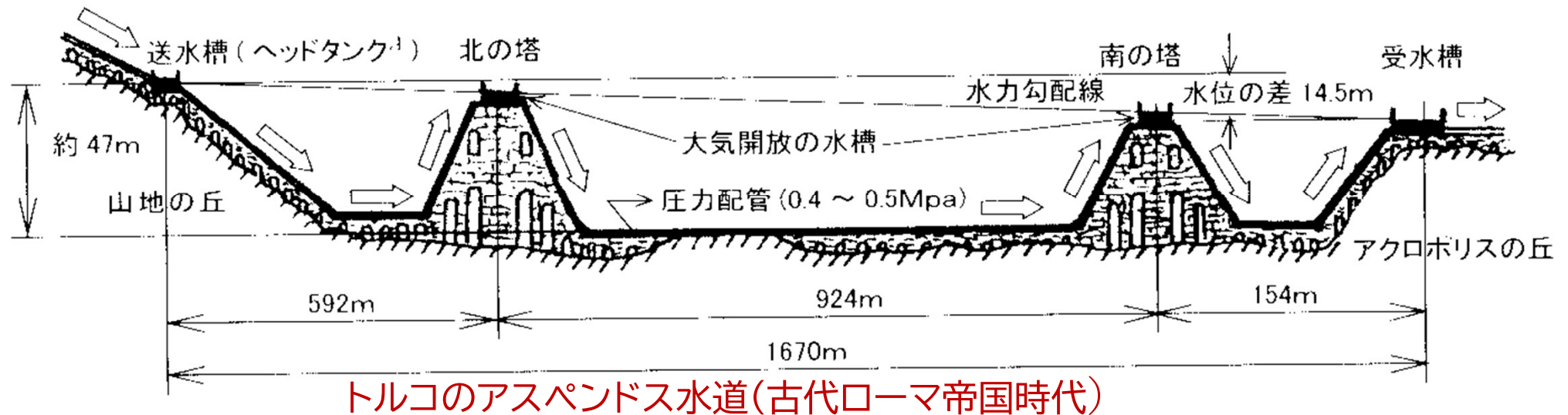
4. 古代ローマの上水道-11 水道橋上の導水路

スペインのタラゴナへ水を送る水道の途中にある、フェレール水道橋の頂部に設置された導水路。当初は薄い石のふたがされていた。



4. 古代ローマの上水道-10 逆サイホン

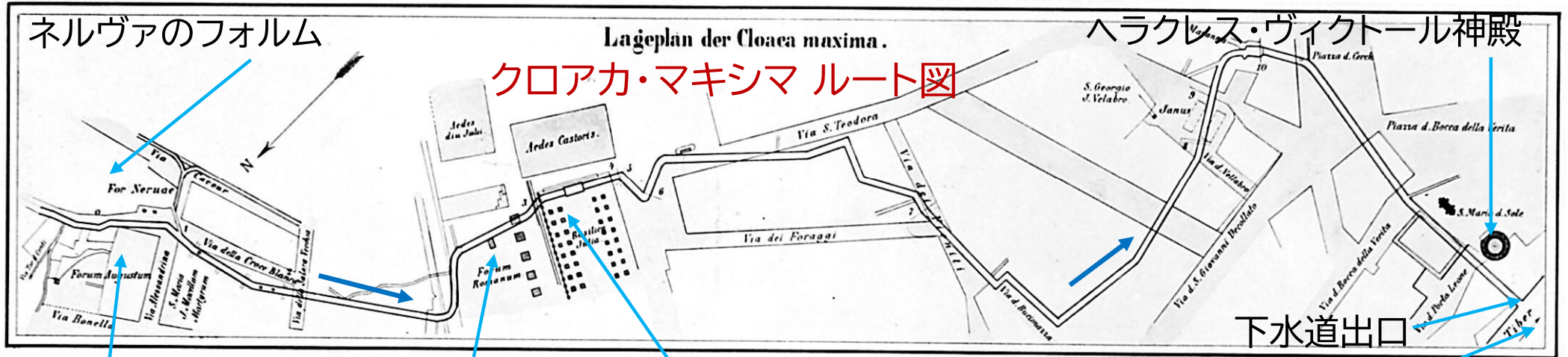
橋では技術的に困難な深い谷や、建設費が掛かかり過ぎる幅の広いくぼ地を水道が横断する場合、逆サイホン(U字配管)が用いられた。逆サイホンの場合、上流にヘッドタンク(送水槽)、下流に受水槽を設け、両者の水位を結ぶ水力勾配線を若干の下り勾配とする。途中、所々にベント目的の小さな水槽を水力勾配線上に設けることが多い。



注:上記の図はいずれも垂直方向の寸法を拡大して描いている。 資④10 16, 17頁

5. 古代ローマ下水道 クロアカ・マキシマ(1)

古代のローマ市、最大の下水道クロアカ・マキシマは紀元前600年頃建設された。



アウグストスの
フォルム

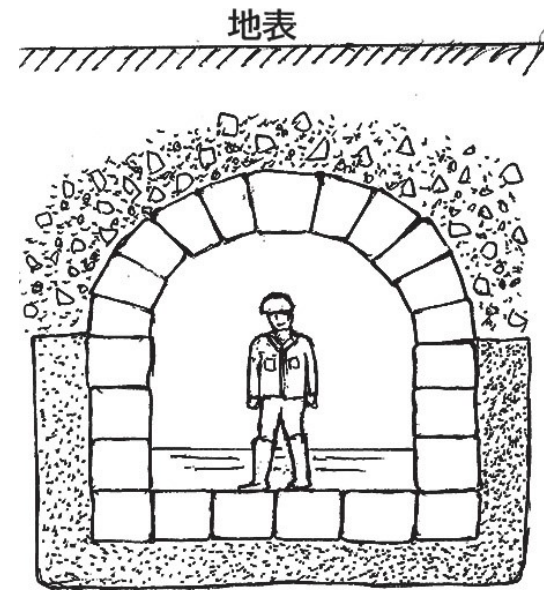
フォロ・ロマーノ

バシリカ・ユリア

資⑤1

下水道出口

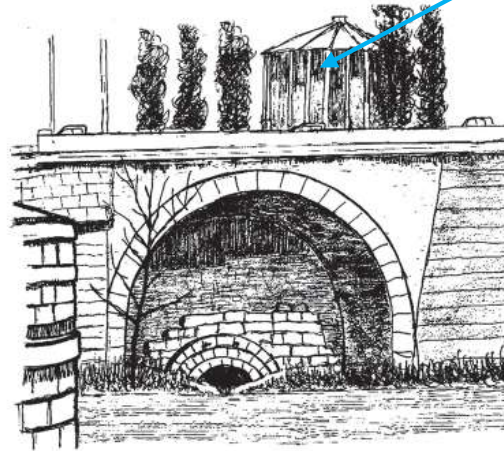
テベレ川



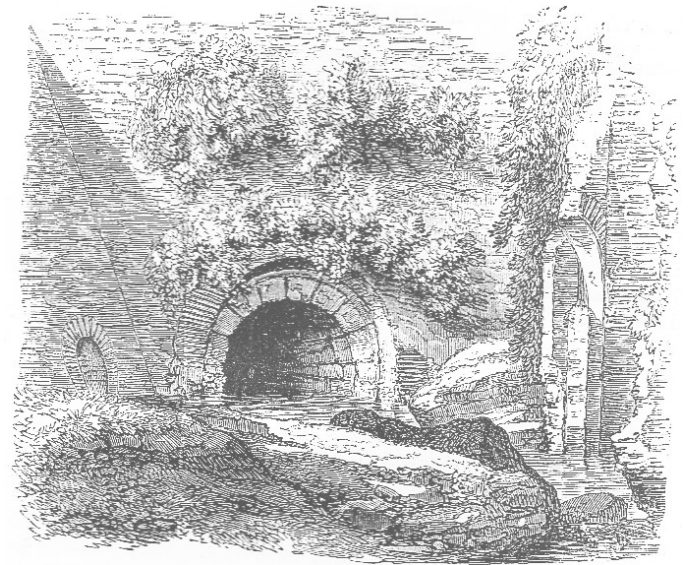
下水道内部

資④10 38頁

ヘラクレス・ヴィクトール神殿



現在のテベレ川への排水口
半ば泥に埋まっている。大きいアー
チは比較的最近造られたもの。

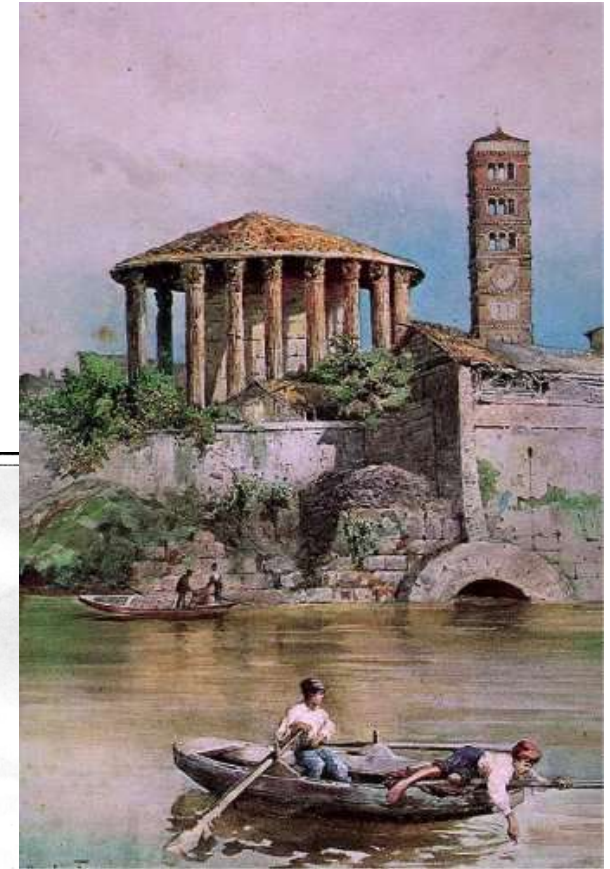


1860年頃の排水口 資⑤3
Drawing by Liddel, 1860

5. 古代ローマ下水道 クロアカ・マキシマ(2)

「最大の下水」を意味するクロアカ・マキシマは、伝承によると600BCローマ近くの三つの丘の水源から水を集め、旧ローマ市街を縦断し、廃水をテベレ川に排出した。

ローマ市には11の水道があり、公衆浴場や噴水、公的建物、個人宅に配水され、それは多量の廃水となったので、下水道の整備は不可欠であった。ローマ市の下水道幹線は、クロアカマキシマ1本である。



Painted by Roesler Franz,
1880年ごろ作成の絵画
資⑤2



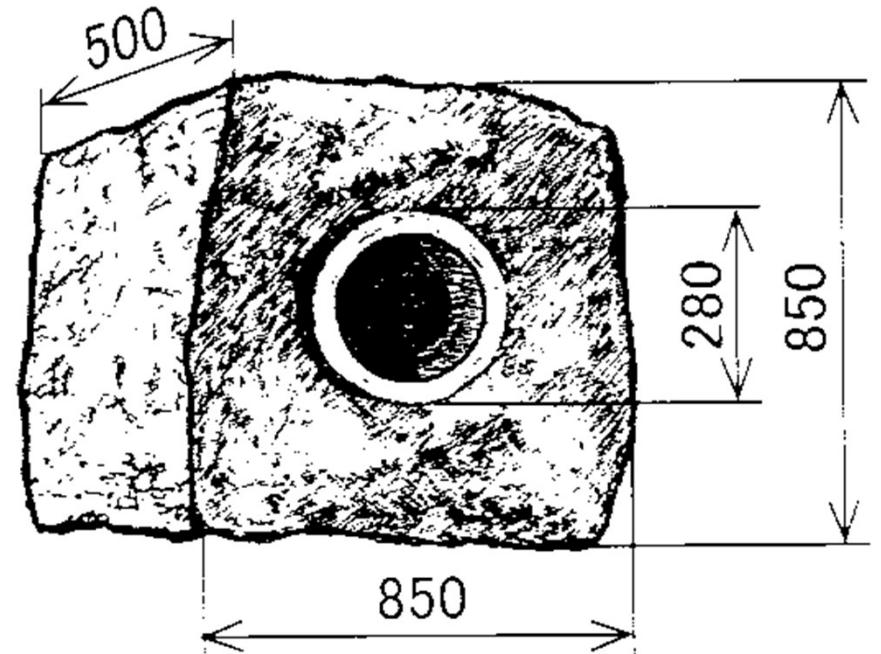
近世におけるテベレ川に注ぐクロアカ・マキシマ排水口

資⑤1

6. 古代ローマの石管

逆サイホンで谷やくぼ地をわたる部分は、流体の圧力が大気圧以上になるので、溝状の流路ではなく、内圧(ヘッドタンクと管路最深部の高低差による水頭圧)に耐える管路とする必要がある。

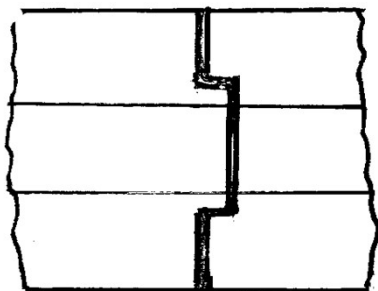
古代ローマでは、小径、中径には鉛、中径、大径には石灰岩や安山岩の石材が使われた。管の単長は、運搬の便宜を考え、かなり短かった(右図参照)。管同士のジョイント部は凸面と凹面の間にモルタルを挟んで嵌合させ、封水した。



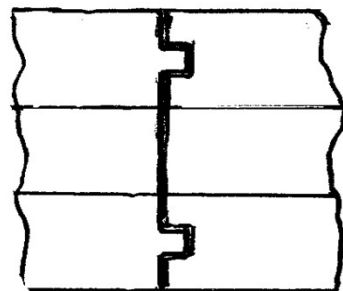
2世紀 アスペンドス水道(トルコ)

資④10

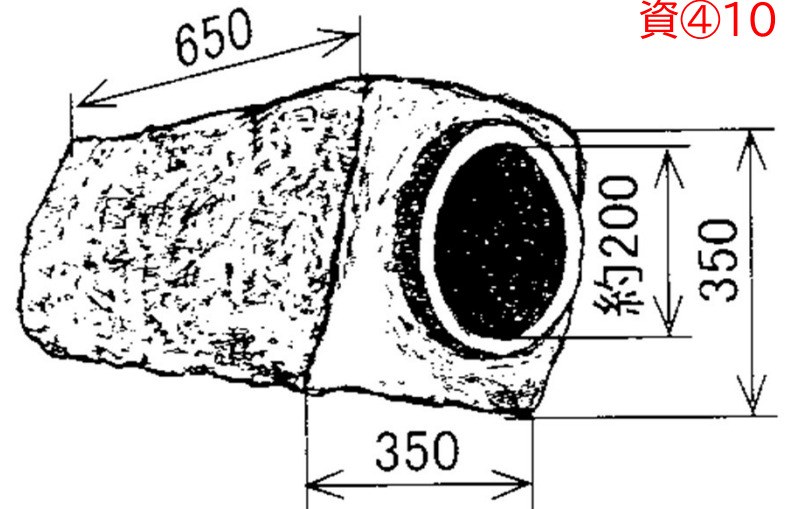
接合部(ジョイント)



古代ローマ



参考:辰巳用水(江戸時代)



18世紀末、オットマン・アッコ水道

6. 古代ローマの石管-2 イスラエルの石管

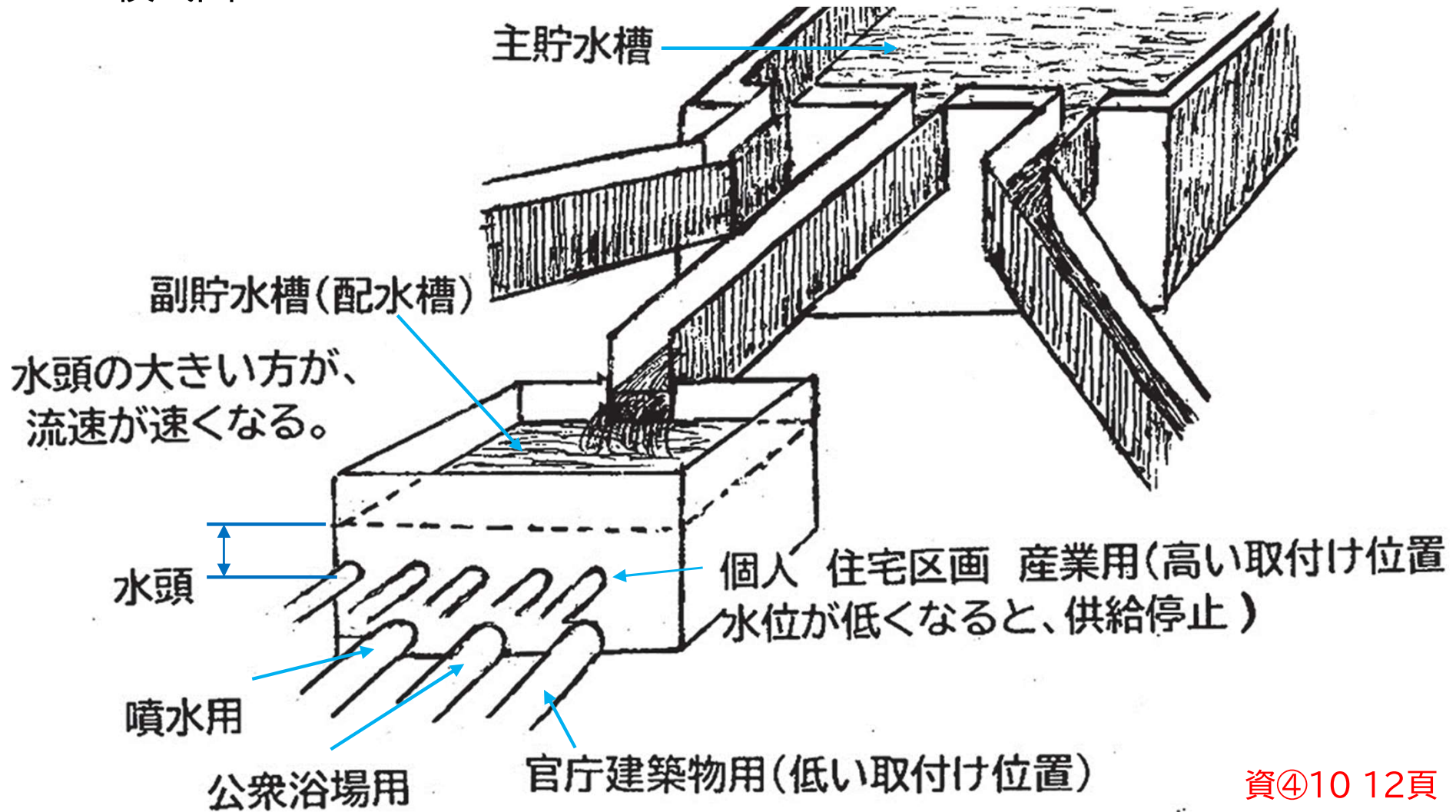
ソロモンの池からベツレヘムを経てエルサレムまでの13kmに敷設された石管。
石管には水道工事の責任者(ローマ軍指揮官)の名が刻まれている。管の単長
は運搬の便宜を考えて、短い。ジョイント部は凸面の方が見えている



イスラエル
考古学博物館蔵

6. 古代ローマの石管-3 貯水槽と配水槽の仕組み

模式図



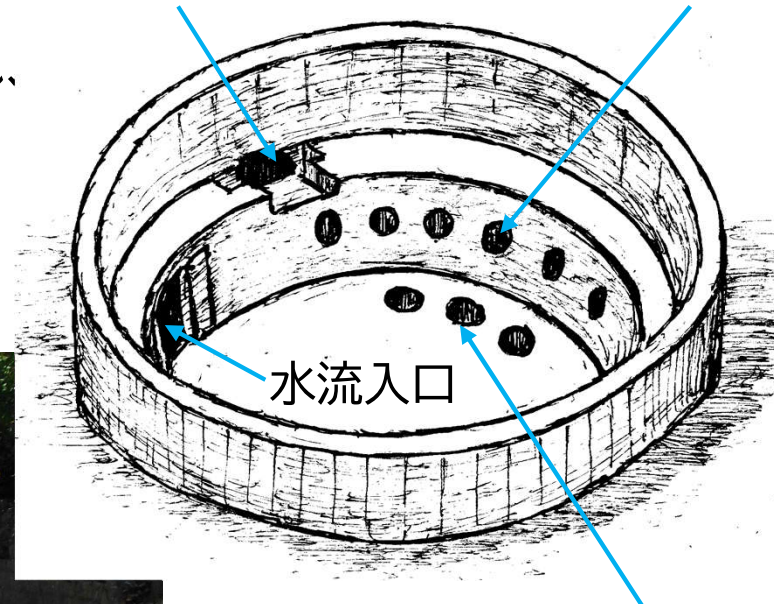
6. 古代ローマの石管-4 仏、ニームにある 配水槽

フランス、ニームにある円形の配水槽遺跡。
向こう側正面の角形の水槽入口から給水され、
手前の円形の複数の出口から配水される。



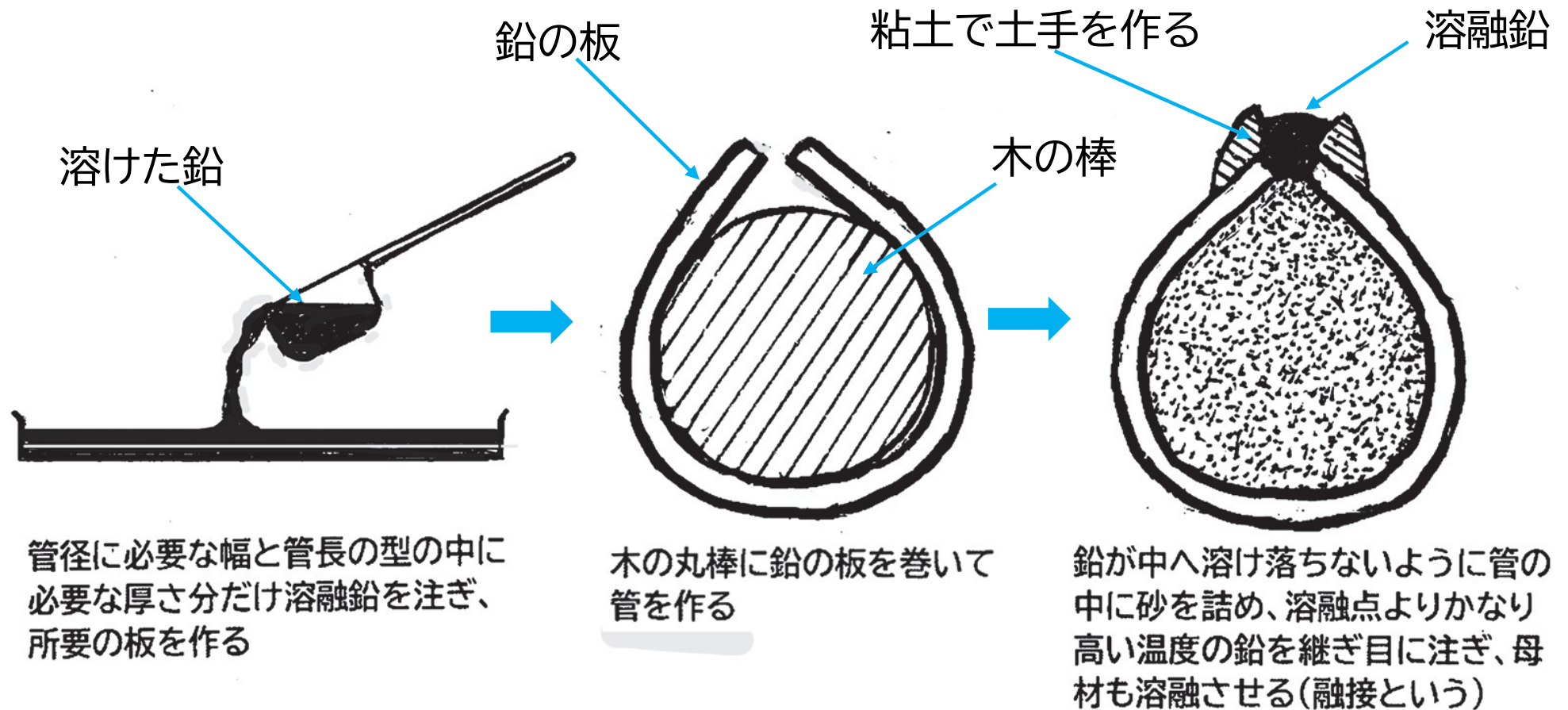
オーバーフロー？

泉、公共浴場、
富裕層への給水



7. 古代ローマの鉛管(1)

配水槽から先の、最終消費者へ配水するための細い管は鉛管が使われた。鉛は溶融温度が低くて鋳造しやすく、また常温でも比較的柔らかく、加工しやすいため、古代ローマ時代からよく管用に使われた。その作り方を示す。



7. 古代ローマの 鉛管(2)

下の写真:製造所の名前の鋳出しがある鉛管。管上部に、巻いた板の継目を鉛で溶着した盛り上がりが見える。



右の写真:古代ローマ時代、英国 [資⑦2](#)
で建設された公共浴場への鉛管(鋳出しマークなし)。継ぎ目がはっきりわかる。

[資⑦1](#)



8. 中世の鉛管

中世に入り1236年(1247年という説あり)、英国のヘンリー3世により敷設された、郊外の泉の水を重力流でコンジット(導管という意味)と呼ぶ鉛管を使い、運んだ、ロンドン最初の水道以後、この種のコンジットが数多く敷設された。

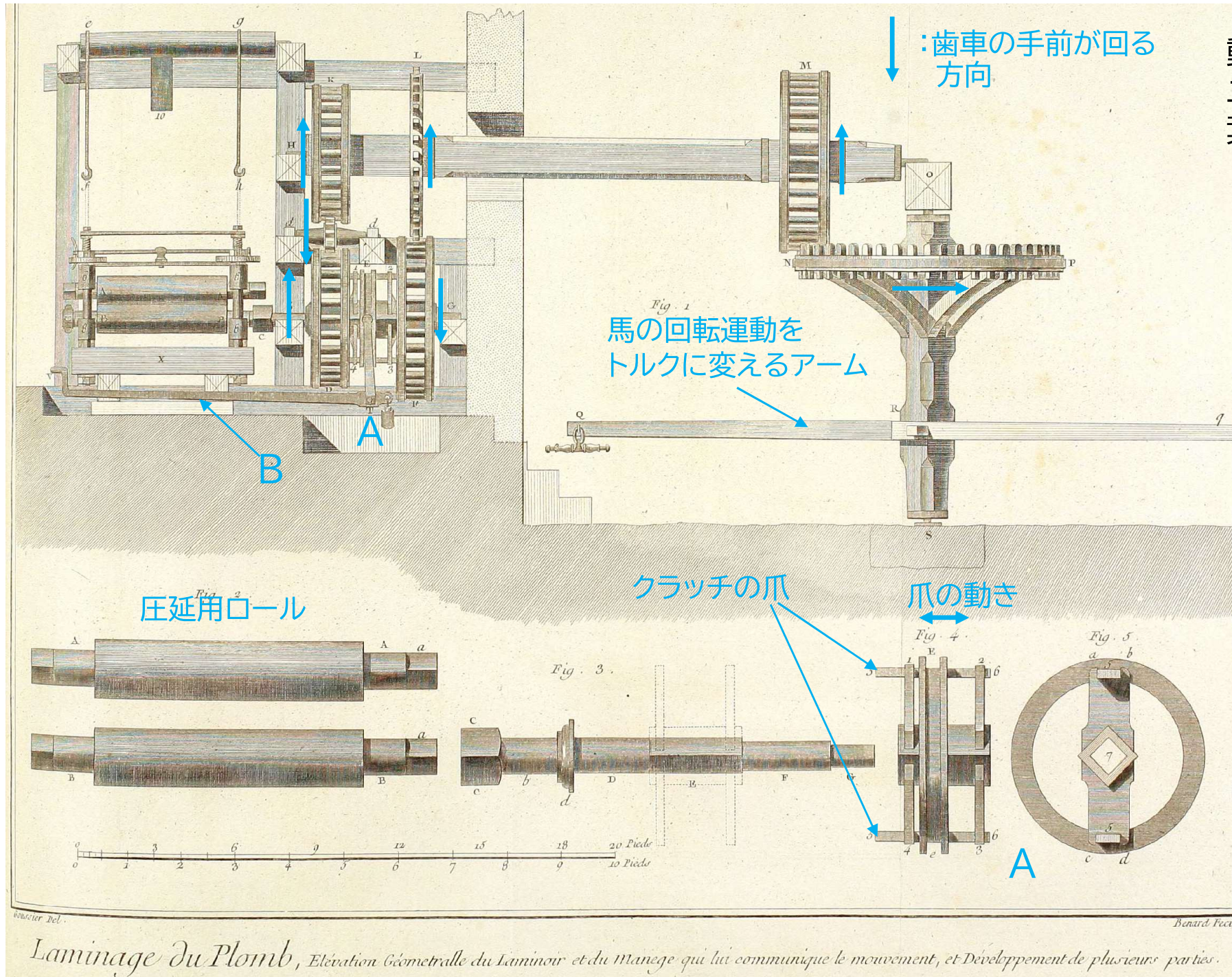
古代ローマ時代の、鑄造した鉛板を巻く鉛管の製法は、17世紀後半まで使われていた。ただ、長手継手は、突き合わせで、継手部に盛る金属は、鉛(鉛:328℃)にもっと融点の低い錫(融点:232℃)を加えたハンダが使われた。資④10 66頁

17世紀後半には英国で、鑄造した鉛の厚板を、水車または馬で回転させる2本のロールの間を通して圧延し、良質で均一な厚さの鉛管用板が使われるようになった。資④10 66頁

鉛板から管を製作する方法は、1741年、J.クリードの特許により、管径に応じた幅に切断した帯板を、2本のロールの間に内径を形成させるプラグを置いた設備で管状に成形、さらに附属の工具で長手継手となる板端部をハンダろう付けに適した形に切削することができるようになった。資④10 66頁

次葉は、数頭の馬に引かせる鉛板の圧延機の図である。図における圧延ロール回転部の仕組みを説明する。鉛板が圧延機を通る時、往と復の各工程で圧延が行われる。常に一方向にしか回転しない駆動部に対し、鉛板圧延の往と復を切り替えるには、Aのクラッチの爪をBのレバーで動かすことより行う。爪を動かし、レバーの爪と嵌合した方の歯車にトルクが伝わり、圧延ローラーを回転させる。爪と嵌合しない方の歯車は空回りする。レバーBによりAのクラッチを右、又は左に動かすことで、往・復の動作を切り替える。(以上の動作メカニズムは筆者の推測である)

8. 中世の鉛管-2 鉛管用板圧延の機械化



動作のメカニズムは前葉参照

↓ : 歯車の手前が回る方向

馬の回転運動をトルクに変えるアーム

圧延用ロール

クラッチの爪

爪の動き

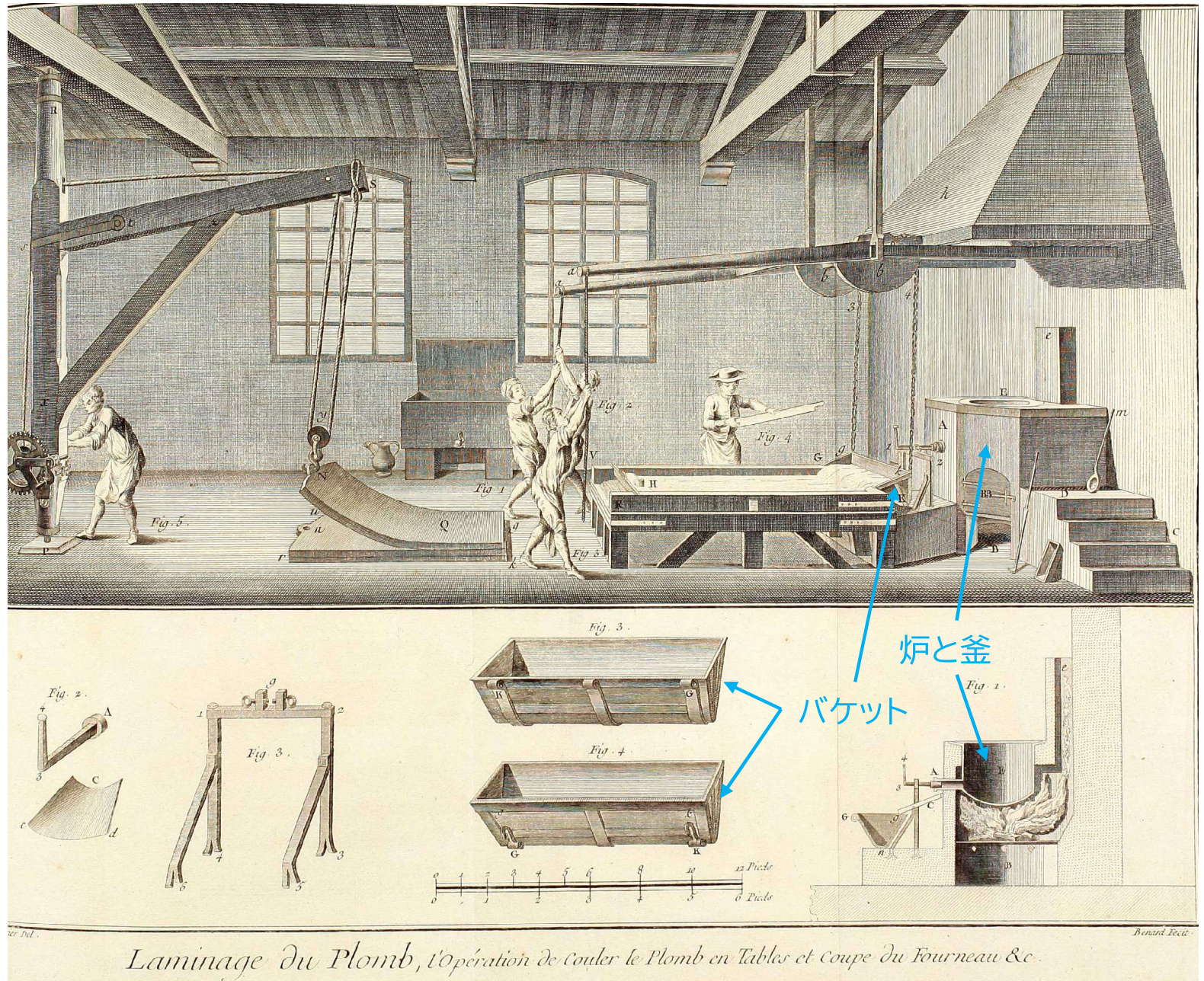
A

資⑧1
に加筆

Laminage du Plomb, Elévation Géométrale du Laminoir et du Manège qui lui communique le mouvement, et Développement de plusieurs parties.

8. 中世の鉛管-3 中世後期の鉛板の鑄造

1771年パリで出版されたディドロ＝ダランベール編『百科全書』第25巻に出ている「鉛板の鑄造作業」を示す図。右端の壁際に鉛の塊を溶かす炉と釜（断面は右下の図）があり、鉛が溶けると、釜の栓を抜いて、製造する鉛板幅のバケツに鉛を注ぎ込み、次いでバケツを傾け、鉛を、板を造る鑄型に流し込む。右の女性が持っているへらで鉛の表面を撫でて真平にするとと思われる。鉛板には、取り扱い易いように、孔の開いた取っ手が鑄込んである。



8. 中世の鉛管-5

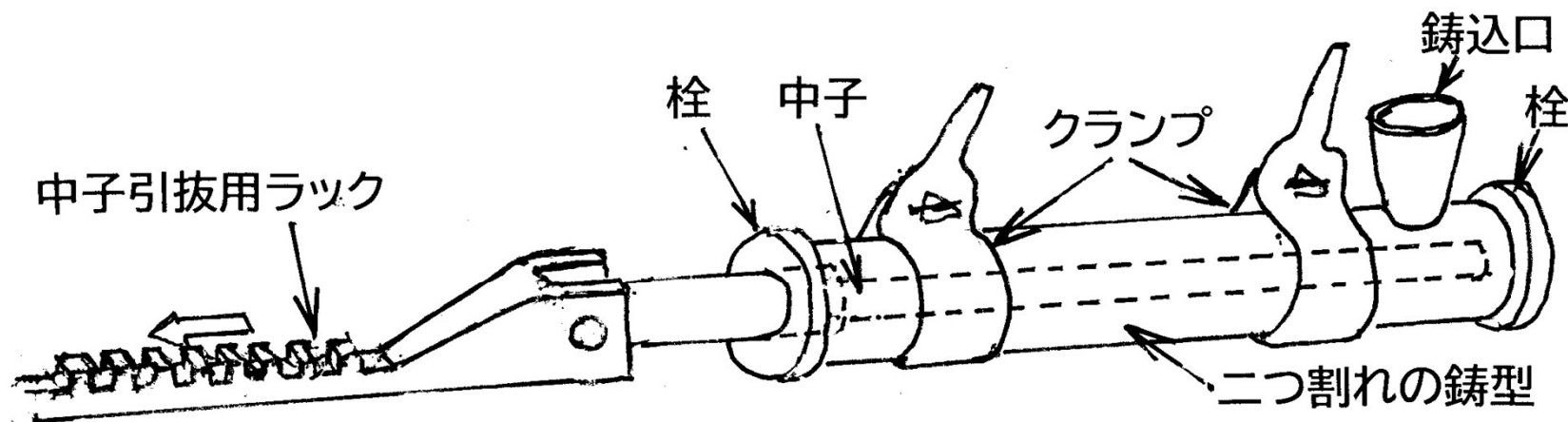
鉛管の製造

時代が前後するが、17世紀後半に鉛の製造管が登場する。

その製法は、下の図のように、木の幹をくり抜いた二つ割れの鑄型を水平に置いて組み、クランプで結合し、円柱状に削り出した木材の中子を鑄型の一端から入れ、所定位置にセットし、端部開口部に栓をする。鑄型の上部に設けられた鑄込口から鉛を流し込み、冷えた後、中子を抜き取り、鑄型をばらして鉛管を取り出し、その鉛管の管端を栓として、次に鑄込む鑄型を組み、前と同じ要領で鑄込みを行う。

これを連続して行い、長い1本ものの鉛管を製造した。資⑧3

木製の鑄型と中子は後に鑄鉄製に代えられた。



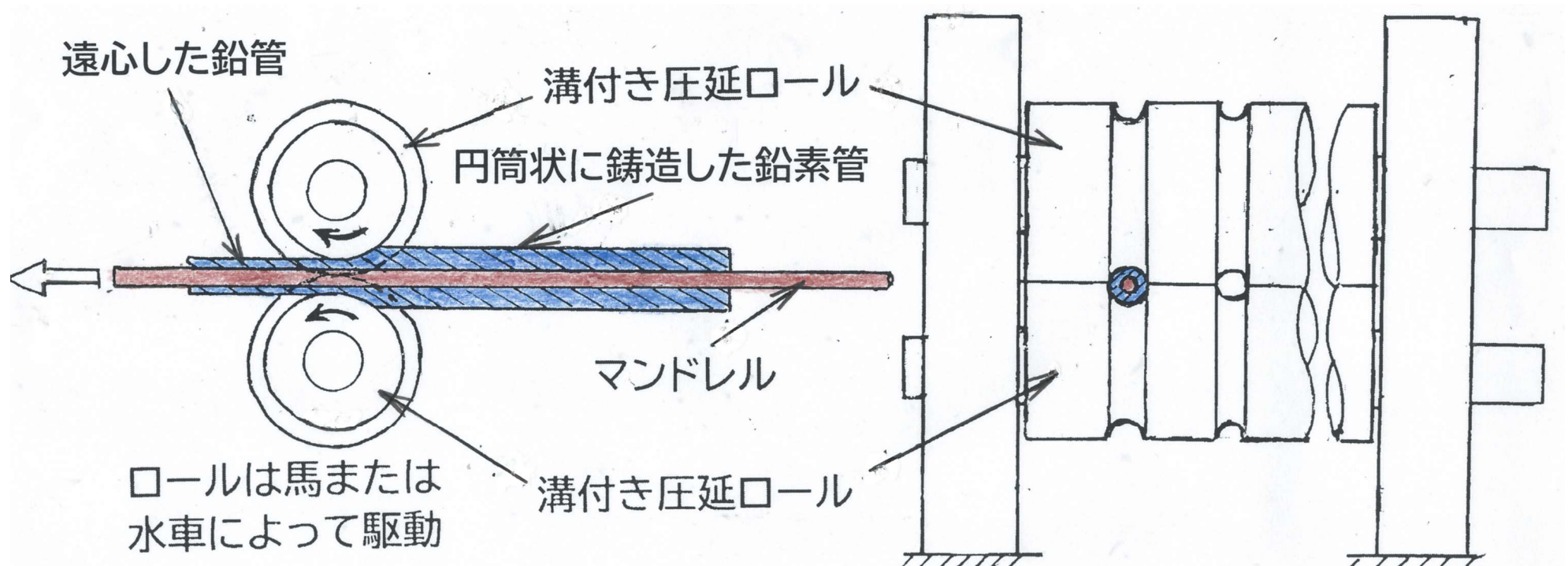
資⑧3

鑄込んだ最初の管の右端が、次の管の鑄型の左端の栓の役をする。これを繰り返して、連続した長い管をつくる。

8. 中世の鉛管-6 継目無鉛管の製造

1791年には、ワットの蒸気機関のシリンダを製作した、英国のジョン・ウィルキンソンが鉛を中空円筒に鋳造したものを素管とし、下図のように、その素管の中に鉛より硬い材料のマンドレルを挿入し、それを穴溝のついたロール圧延機に通し、穴溝の径とマンドレル径を少しずつ小さくして、繰り返し圧延を行うことにより、所定の径と厚さの、延伸した継目無鉛管を製造した。資⑧5

圧延ロールの回転は、水車または馬による回転力をギアで速度、方向を変換し、圧延ロールに伝達した。



9. 近世パリの上水道

16世紀以降、パリの人口が増え続け、市民は井戸や近くの泉の水だけでは飲料水が間に合わず、水売り人が売るセーヌ川の水を飲まざるを得なかった。

フランス国王アンリ4世の王妃、マリー・ド・メディシスは、妃が住むために建設したリュクサンブール宮殿とその庭園の噴水用として、古代ローマ時代の水道の水源ランジスから、古代の水道ルートにほぼ沿った、全長12.5kmのメディシス水道を1613～1634年の間に完成させた。

時代が下り、ナポレオン3世は1855年、技師、オイゲン・ベルグランドをパリの下水道、下水道の責任者に命じた。彼は優れたプロジェクトリーダーであると同時に優れた土木技術者でもあった。

彼はパリから遠く離れた水源から清浄な水を引く3つの水道を次々と完成させた。すなわち、

パリの東北東85kmの水源から、適切な勾配の地を選び、21の谷を逆サイホンで超える全長129kmのデュイス水道を1863～1865年の間に完成させた。

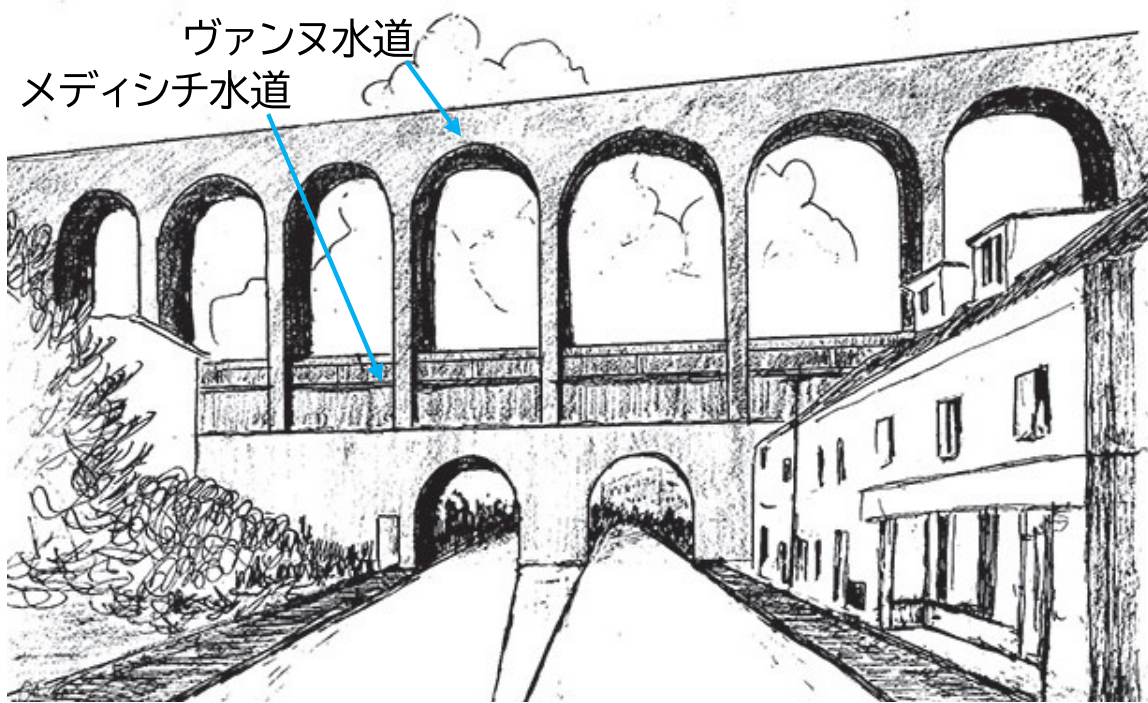
パリ南方の川を水源とし、逆サイホンやポンプ下流の圧力配管に口径1.1mの鑄鉄管が大量に使った全長156kmのヴァンヌ水道を1866～1874年に完成させた。

更に、パリ西部を水源とし、口径1.8mの鑄鉄管を使った全長102kmのアヴレ水道を1893年に稼働させた。

ここでは、最初の、そして全長が石づくりでのメディシス水道を紹介する。

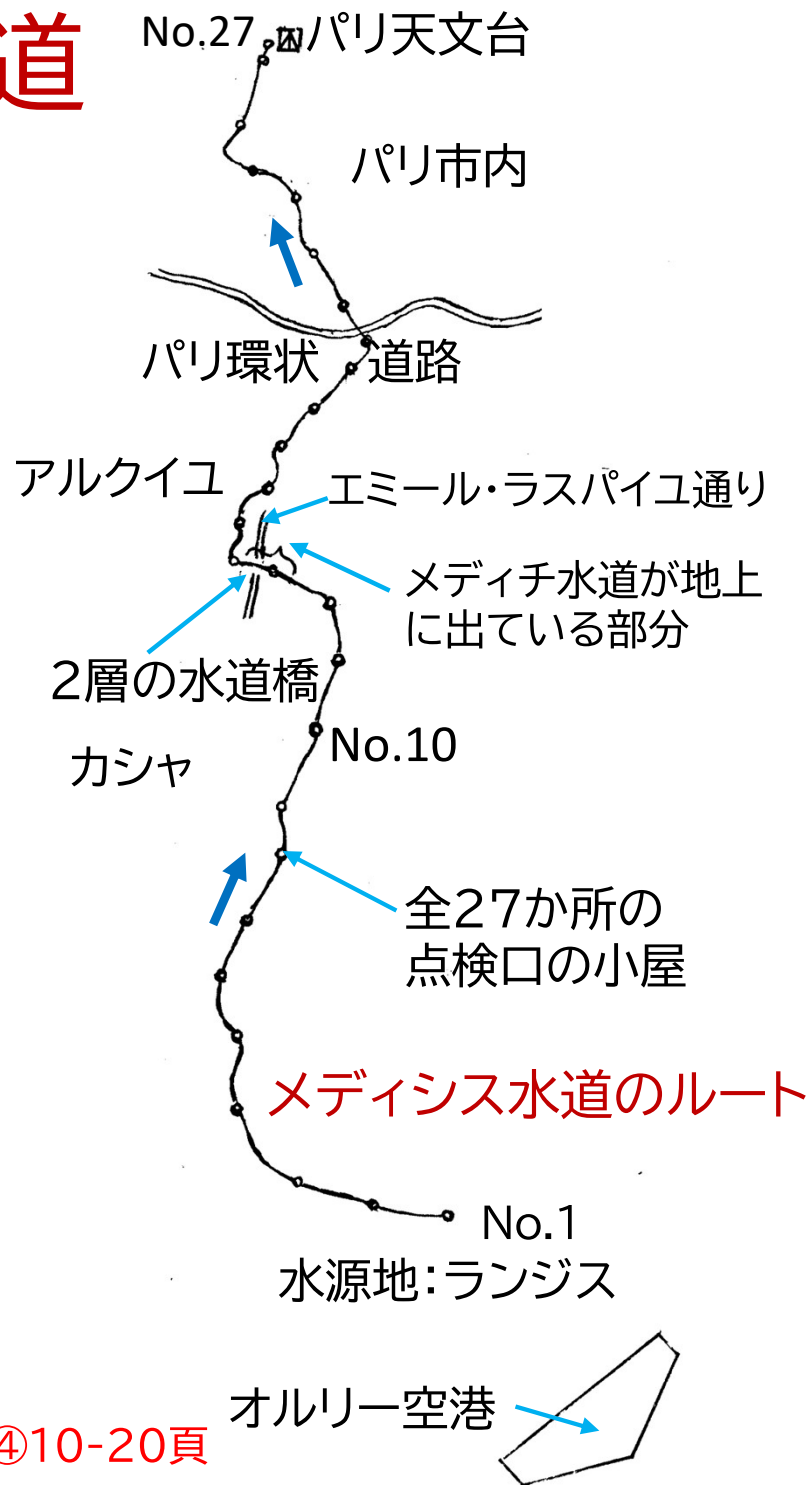
9. 近世パリの上水道-3 メディシス水道

水道橋で谷を渡る1箇所を除き、地下に敷設された重力流によるメディシス水道はその上が大部分、街路になっていて、ほぼ500mおきに伝語で“Regard”と呼ばれる、地下水路を点検するためのアクセス口があり、そこに、鉄の扉のついた小さな石の小屋が立っている。この小屋がほぼ等間隔に道路脇などに立っているので、水源地のNo.1の小屋からパリ天文台脇の貯水池付近に立つ最後のNo.27の小屋まで順にたどれば、12.5kmの水道がどこを通っているかをほぼ知ることができる。



資④10-20頁

エミール・ラスパイユ通りを渡るメディシス水道(ヴァンヌ水道は後の増設)

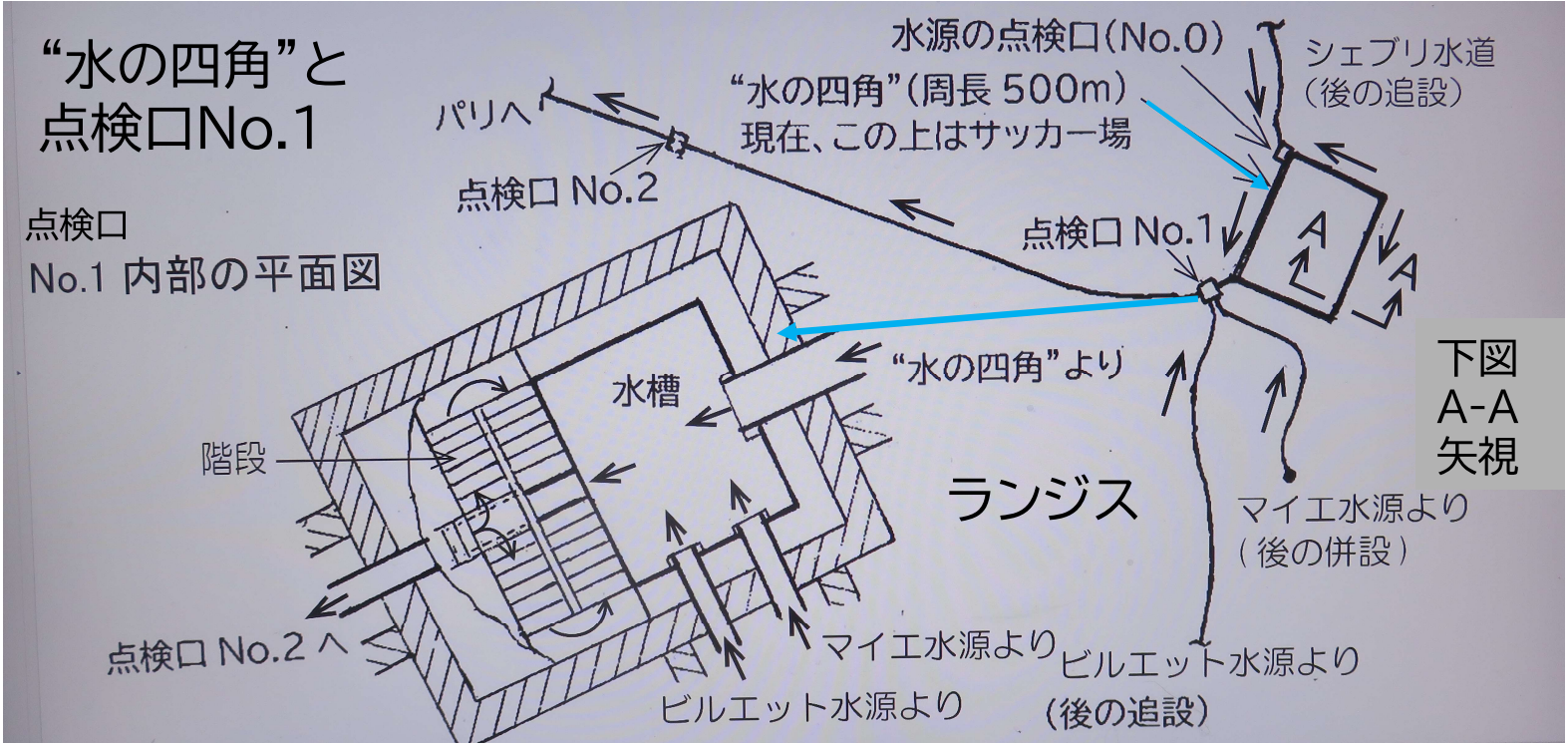


メディシチ水道の水源

水源は、ランジスの丘陵地帯に入り込んだ谷の奥まった所で地下水の集まり易い所であった。集水は点検口No.1付近にある“水の四角”と称する、地下に四角形に回廊のように巡らされた導水路の、“バービカン”と呼ばれる壁から行われる。

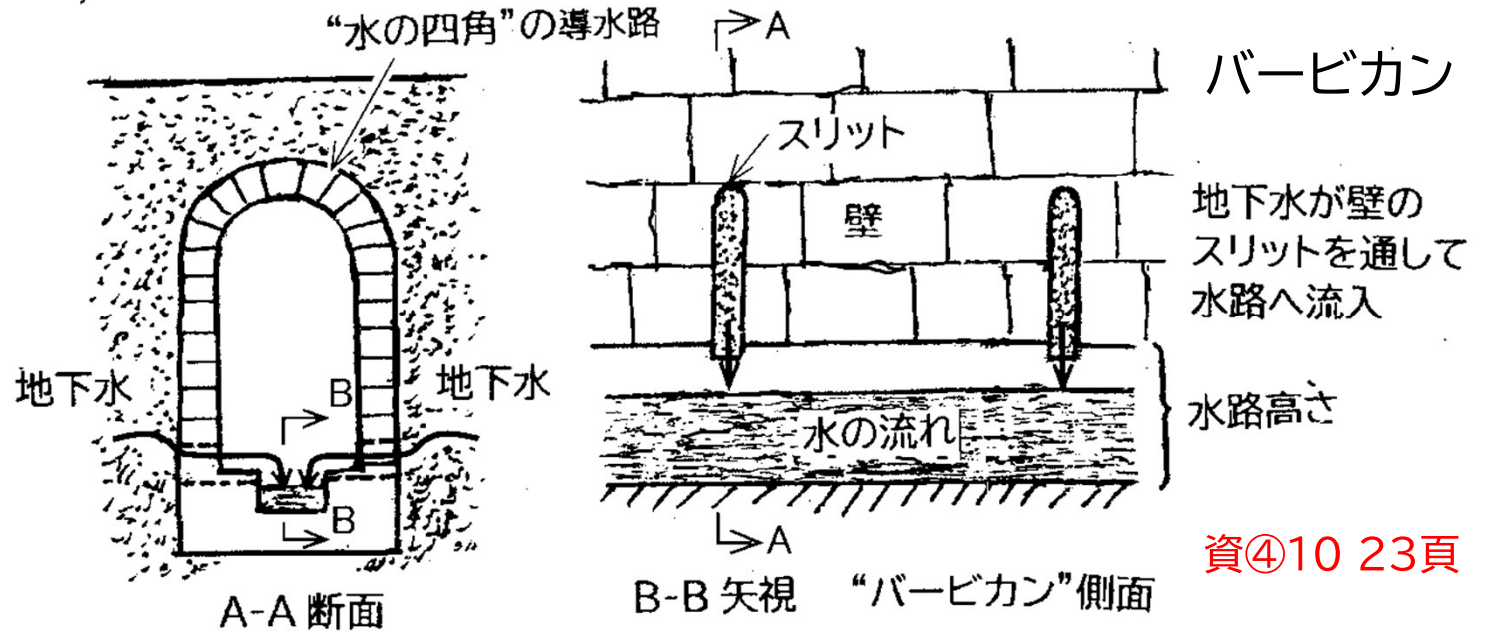
壁には下図のように壁を貫通する多数のスリットが設けられており、スリットを通して土壌から、地下水と土壌でろ過された雨水が水路に流れ込み、その水が点検口No.1の水槽に導かれる。

しかし、1932年に、ランジスのすぐ近くにオルリー空港が開港し、その後、高速道路も建設されたため“水の四角”の地下水は枯渇し、現在、その上はサッカー場となっている。



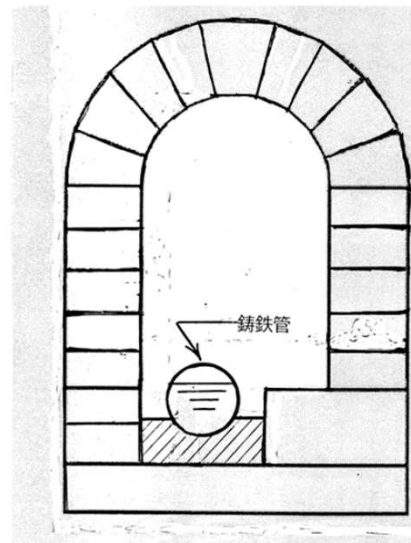
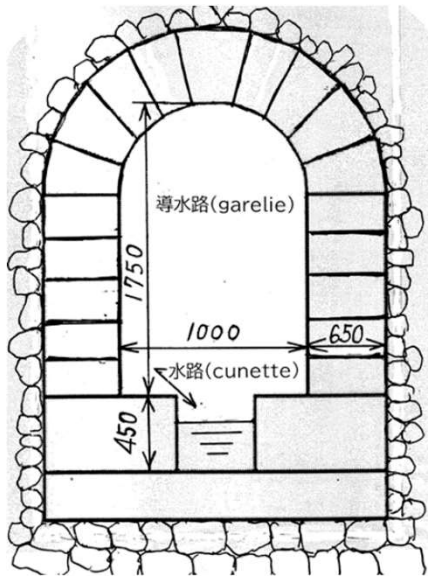
点検口 No.1 内部の平面図

下図 A-A 矢視



9. 近世パリの上水道-3 地下水路の仕組み

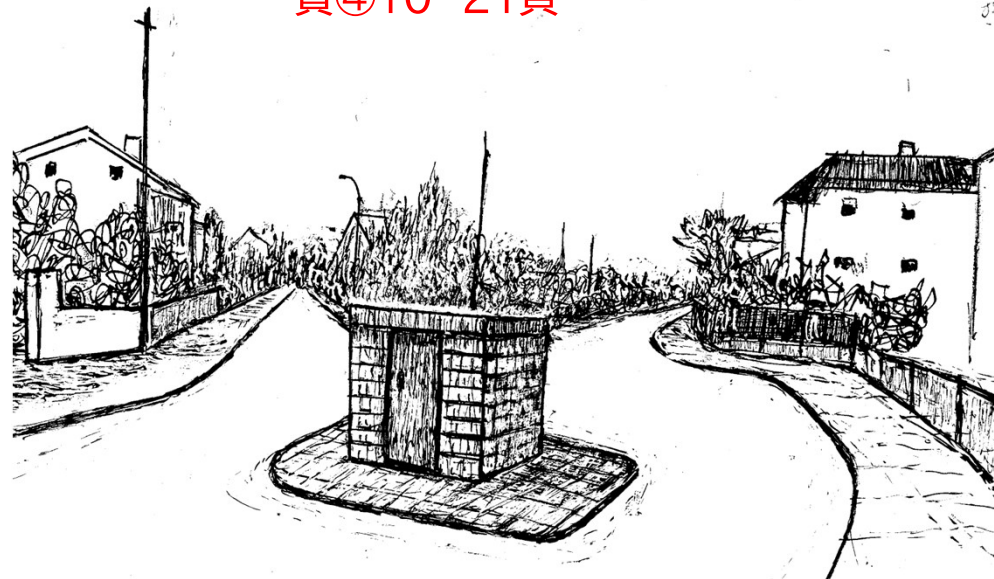
メディシチ水道の大部分を占める地下導水路は左の図のような構造をしている。
 水道は地上にほぼ500mおきに点検口があり、点検口の底には下の図に見るように、沈殿槽と小さな滝があり、異物の沈殿と溶存酸素の供給を行った。点検口を覆っている石の小屋は街路の風景に溶け込んでいる(左下の図)。



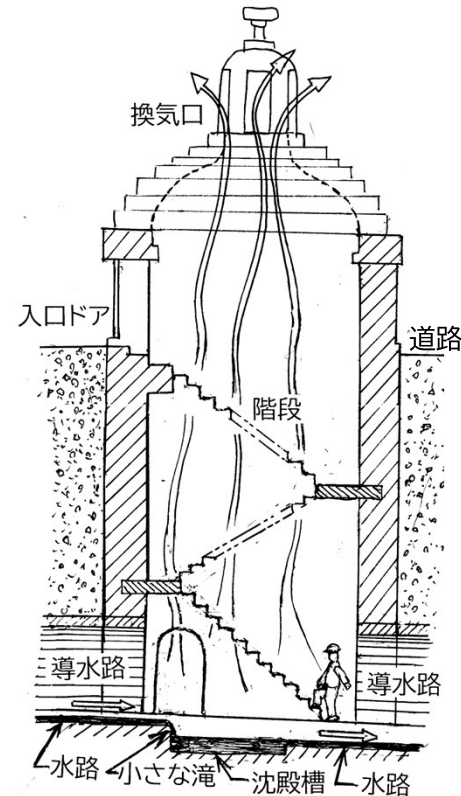
後年、No.10の小屋以降の水路は
 铸铁管に置き換えられた

建設当初の導水路

資④10 21頁



街路上に立つ点検口の小屋の例



換気口を持った点検口
 上図のように、換気口を持つ小屋もあった。

資④10 22頁

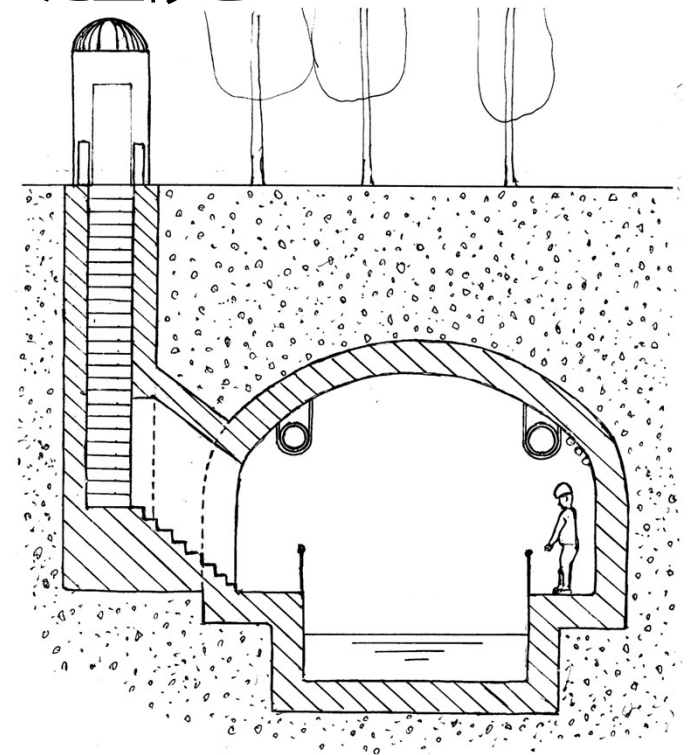
10. 近世パリの下水道

パリを舞台にしたビクトル・ユーゴーの名作、レ・ミゼラブルで、主人公が迷宮のような闇の下水道を彷徨った1836年頃のパリ下水道の全長は80km前後と推定される。

パリ下水道の画期的変革は皇帝ナポレオン三世の時代に行われた。皇帝は1850年、セーヌ県長官であったオスマン男爵とウジェーヌ・ベルグラン技師に、巨大な地下回廊式下水道(下の図参照)の建設を命じた。回廊の大きさは、幹線用、支線用といろいろあったが、幹線用は例えば、回廊部の幅5.6m、空間高さ4m、水路幅3.5m、水路深さ1.35m、石壁の厚さ0.5m、という大きなものであった。回廊には、下水道を保守するための人が通れる側道、転がることによって管路内に溜まった土砂を掃除をする巨大なボールや清掃設備を持ったボートなどを備え、飲み水用と非飲み水用の鑄鉄製給水管を併設する画期的なものであった。

最初、3つの幹線下水道が建設され、それらはコンコルド広場の下で集結し、ろ過設備で浄化された後、セーヌ川のパリ市下流で放流された。1878年の下水道総延長は600kmに達した。

現在では、下水トンネル網は総延長2600kmに及び、トンネル内に電話ケーブル、交通用信号ケーブルなどが設置されている。



10. 近世パリの下水道-2 1836年のパリ下水道地図

1836年当時のパリの下水道総延長は80km前後と推定される(太線が下水道)
Plan des égouts de Paris en 1836.



10. 近世パリの下水道-3 卵形下水道

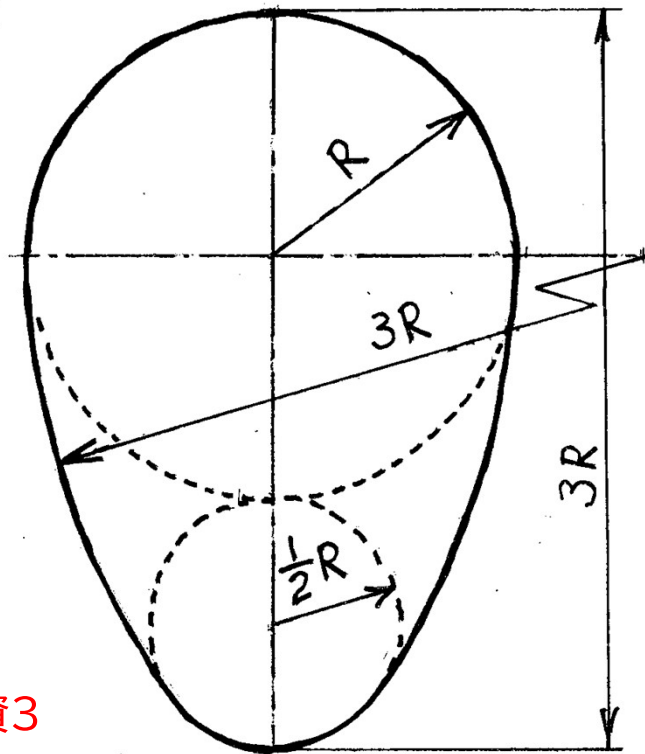
1846年に英国で開発された卵型下水管(小流量時の流速が速く、ゴミを流しやすい)が、1851年、パリの下水道に導入された。



資⑩2

1884年(明治16年), 敷設された神田下水道に卵形が導入された。

1860年下水道の総延長は約230kmとな



資3

英国で開発されたレンガ積み卵形下水管の形状



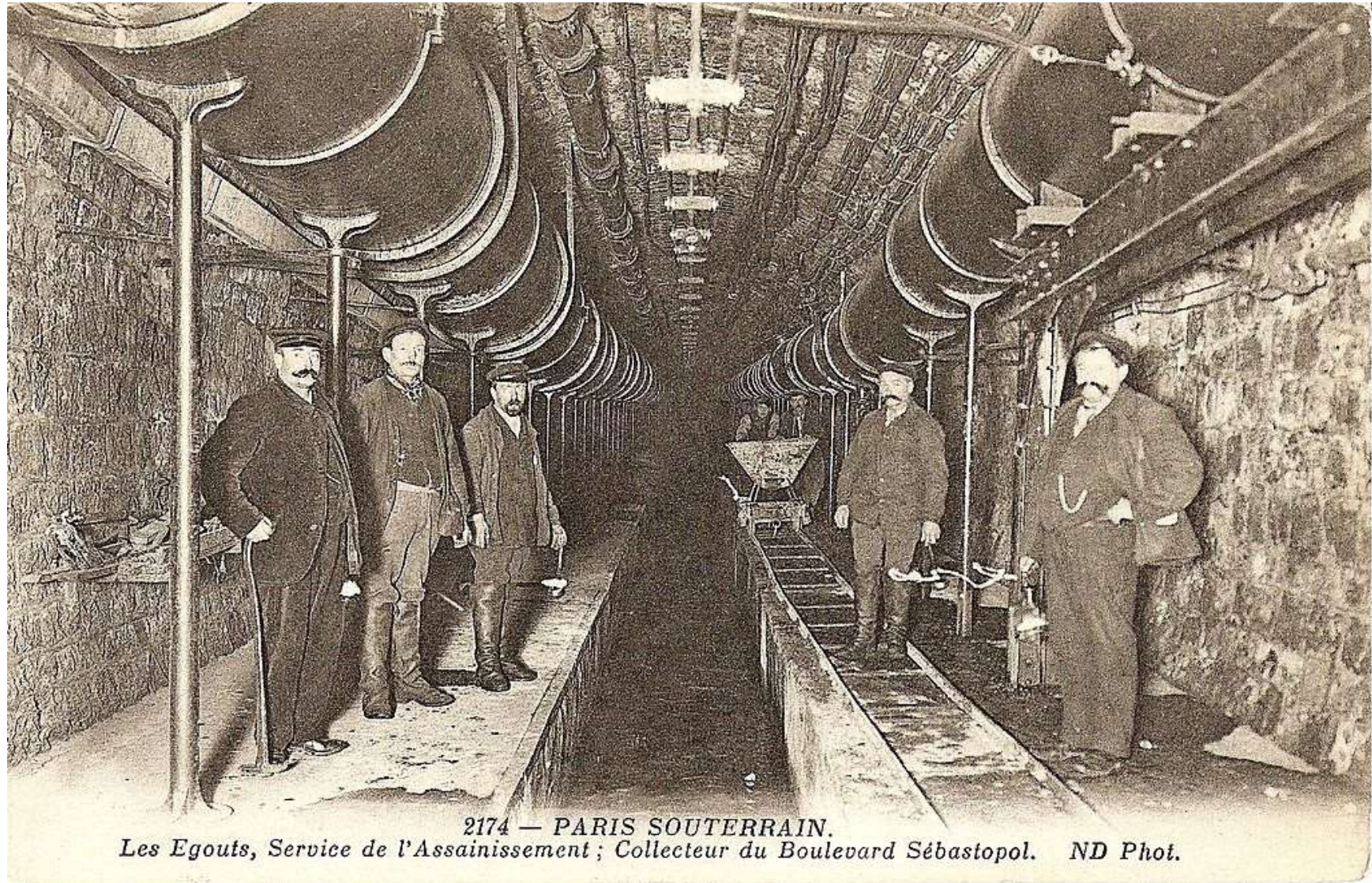
パリの卵形下水道

底が、清掃の便宜をはかるためか、ややフラットになっている。英国のものとは若干形状が異なるようだ。

資⑨4

10. 近世パリの下水道-4 20世紀初頭の回廊式下水道

セバストポール大通り地下の回廊式下水道。下水用水路の外に、大径の水用パイプ2本とケーブルなどが敷設されている。側道(レールが引いてある)を使って、保守、パトロールができる。

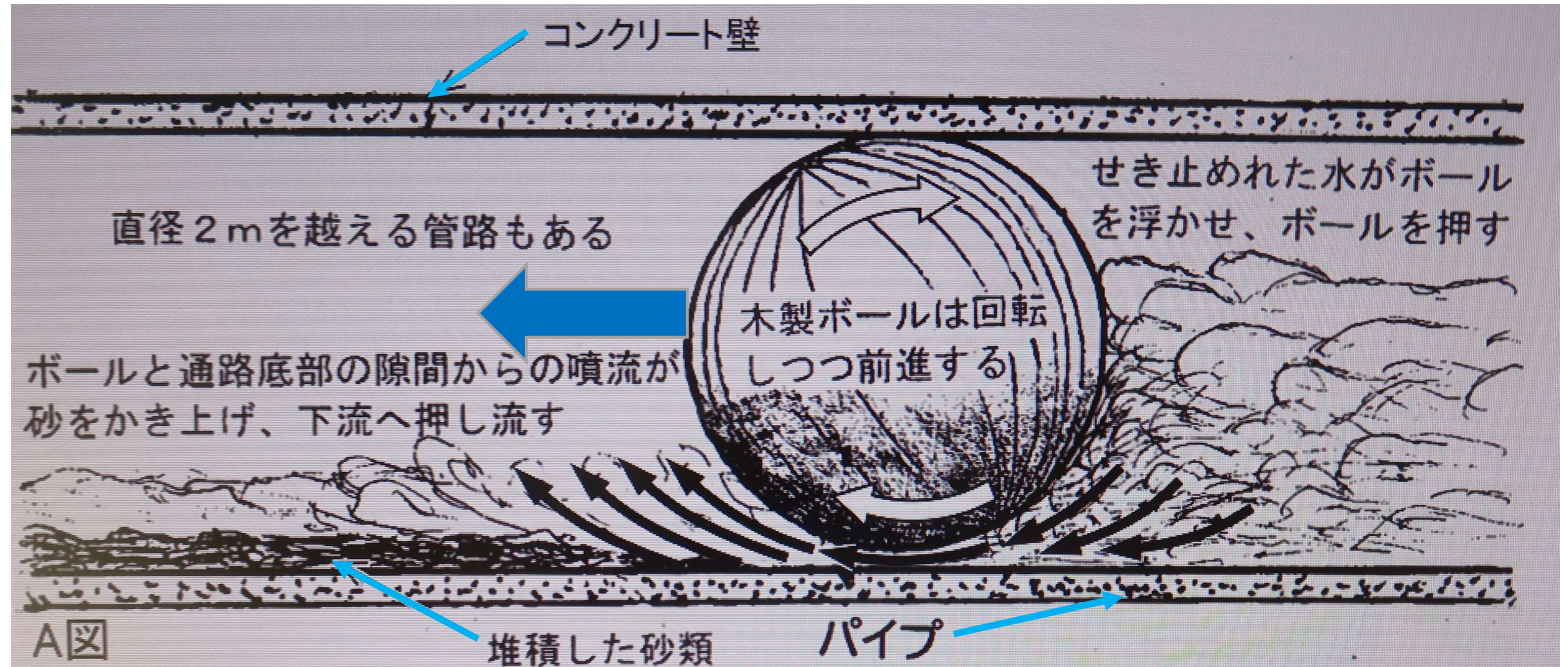


10. 近世パリの下水道-5

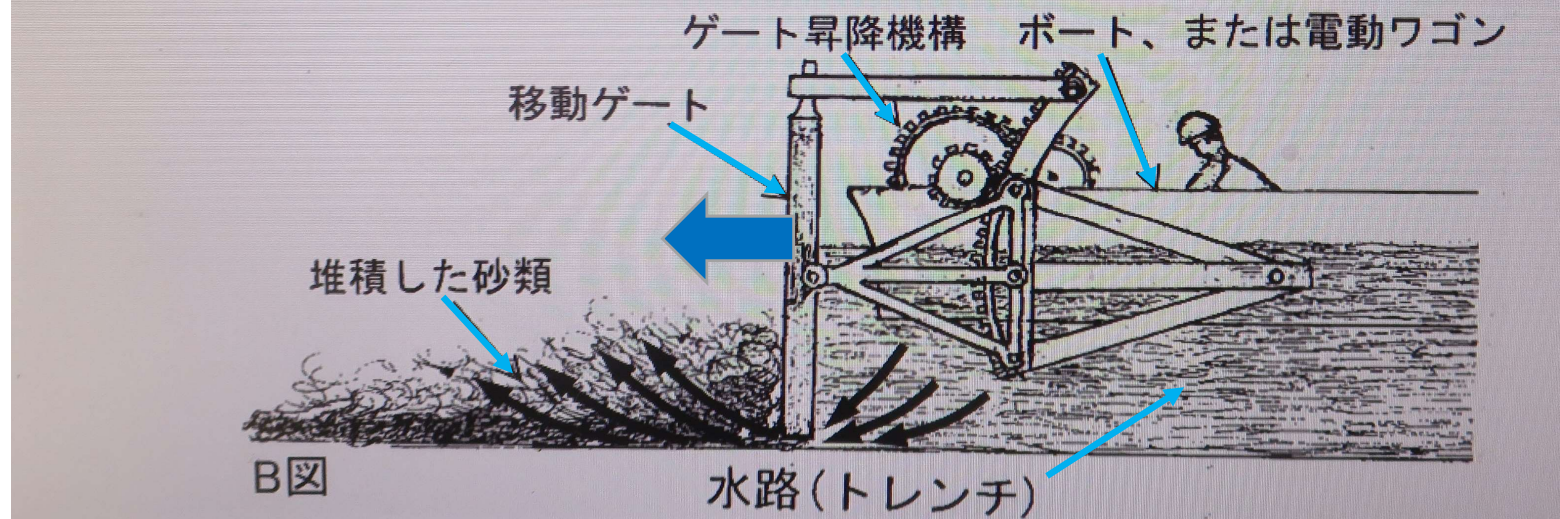
下水道の清掃技術

回廊式下水道には、管路や水路に溜まった土砂を清掃する各種の装置があった。

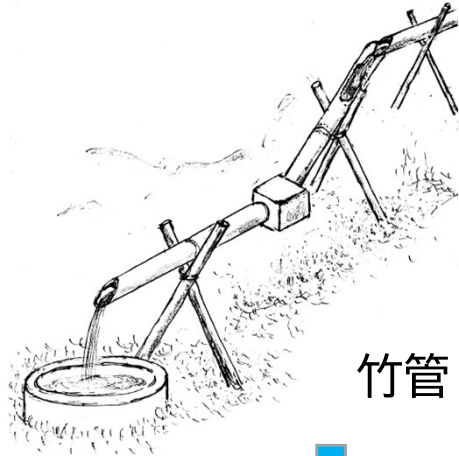
木製ボールによる方法



移動ゲートによる方法



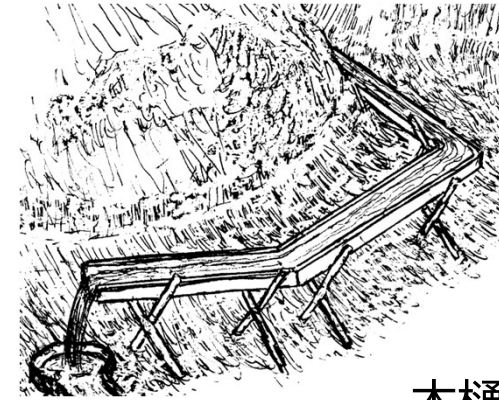
11. 古代から近代 木製の管



竹管



木製の管は、歴史的に人類最古の時代から使われていたと思われるが、腐りやすいため、遺っているものは限られる。木製で最も古く使われたものに竹管(中国)や木樋があった。



木樋



資①②

竹製管を束ねた導水路(香港、年代不詳) 資①① 川を渡る木製樋(スイス・ローザンヌ、1800年前後)

11. 木製の管-3 木の芯をくり抜いた管

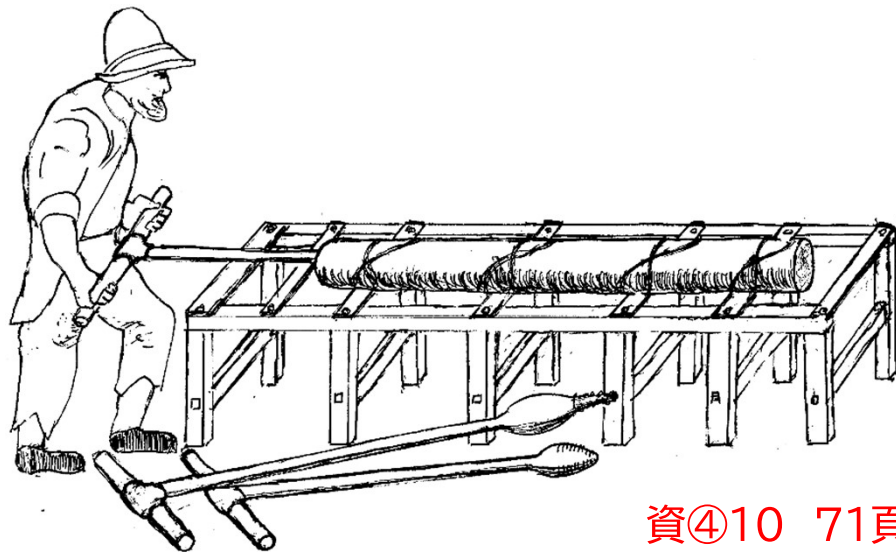
英国では、1582年、ロンドンにロンドン橋水道会社が設置されたのを機に、ロンドンの水道事業は拡大し、17世紀、市内の、エルクの木をくり抜いた管の延長距離は600kmを越えた。

また、米国では、1652年、ボストンに敷設された最初の水用の管に米榿(hemlock)の丸太が使われた(下右A図)。その後、セコイアやアメリカカラマツなども使われた。

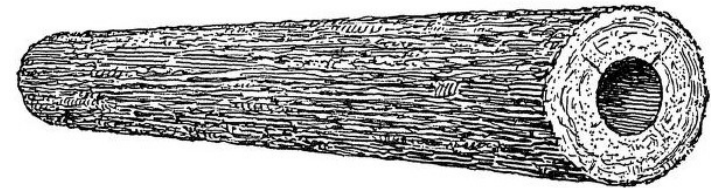
木の幹をくり抜く方法は、1556年にドイツで出版された本に、太い錐を手で回しながら押しこんでゆく方法が描かれている(左下図)。

18世紀中ごろの英国では、人力に変わり、水車で駆動する中ぐり機械で木の幹に穴をあけ、管とするようになった。

米国では19世紀半ば以降、耐圧強度を補強するため木管の外側を、ワイヤーまたはバンドでらせん状に巻き、管外面を腐食防止用のアスファルトで覆ったワイコッフパイプ(Wyckoff : 特許者の名)と称する木管が、水やガス用に一時使われた。

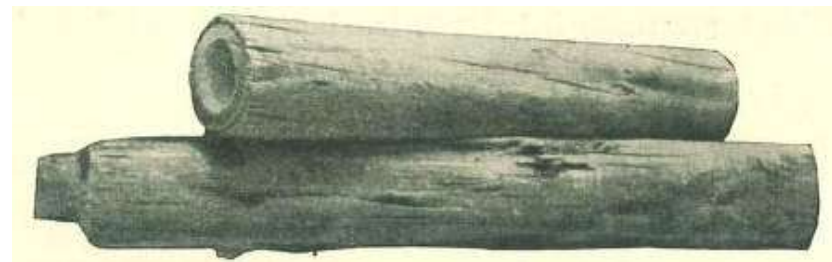


資④10 71頁



A

資⑪



B

資⑩6

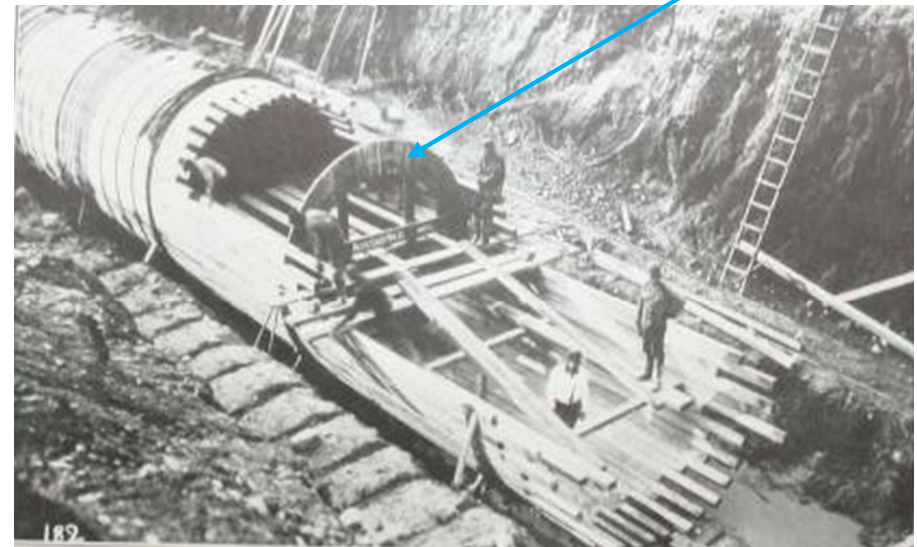
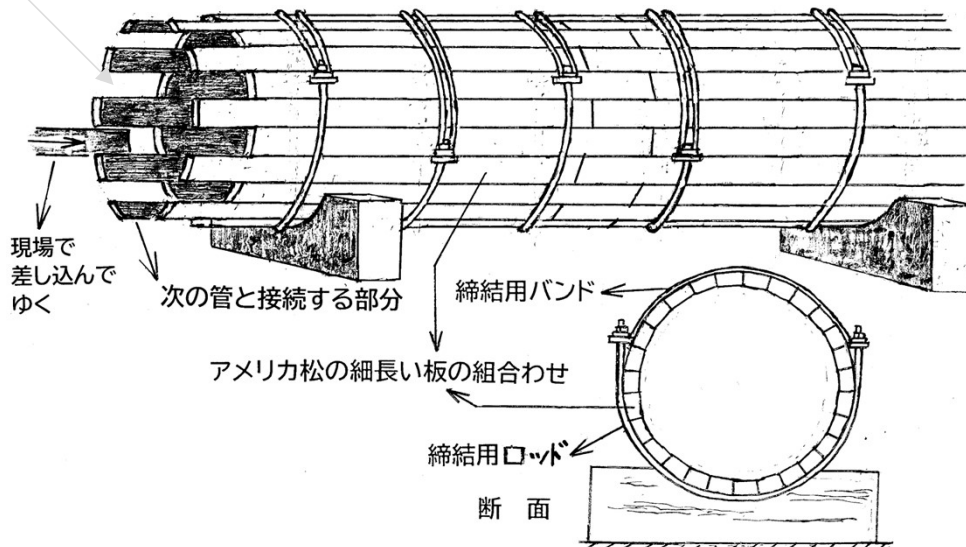
埋設100年後に掘り出された木管(ニューヨーク)

11. 木製の管-3 樽木管(Stave Wood Pipe)

木製の樽状の管が、米国において19世紀前半に開発されたが、本格的に使用されたのは1880年代からで、米国のみならずカナダのバンクーバーなどで多量に生産され、1920年代まで建設が続いた。

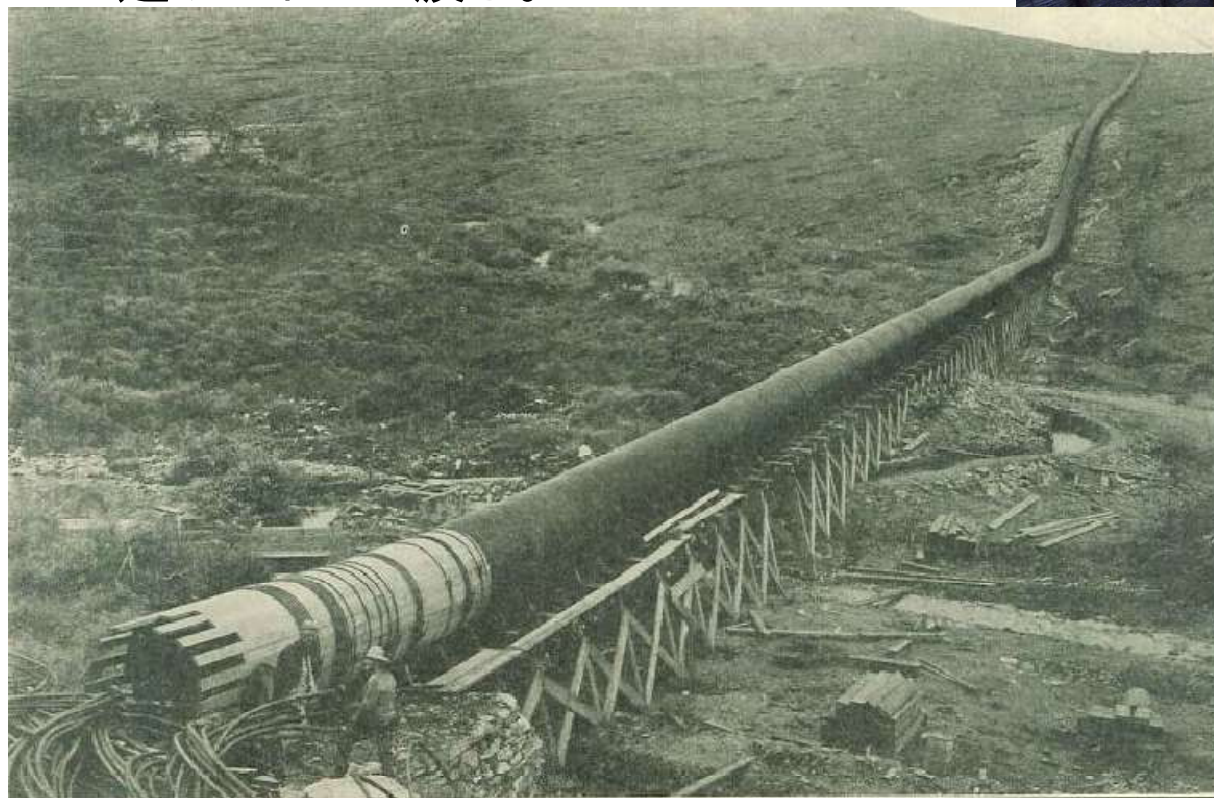
この管は、アメリカ松の柾目の細長い板を現場に運び、現場で、下の図や写真で見ると、細長い板と板の間に、細長い板を差し込み、樽(または桶)状に管を組んでいき、バンドまたはワイヤで管外周を締め付ける、という作業を繰り返すことにより、管路を長く延ばしていくことができた。樽木管は、錬鉄管や鋼管を何百キロの距離運ぶよりは、現地で管を作り、敷設することが容易であったので、比較的口径の大きな水用の管として使われた。その使用寿命は長いもので60年に及んだ。

細板を樽状に組んでいくための型枠



11. 木製の管-4 樽木管

下の写真：
内径1650mmの樽木管のパイプライン
がアラスカのホブソン谷を長さ930m
の逆サイホンで渡る。



3,100 feet, 66" inside diameter. Continuous-Stave Pipe, installed for Pioneer Mining Co.
Miocene syphon crossing Hobson Creek, Nome Precinct, Alaska

上の写真：
水力発電所用パイプライン

資①⑤

資①⑥

11. 木製の管-4 木管と鋼管のハイブリッド配管

下の写真の水平に走る管(径1200mm程度)は、アラスカ州、最南端にある水力発電所(右方向)へダム湖から水を送る木製の樽木管(ペンストック)。Tの右側にバタフライ弁が見える。Tで上に伸びている樽木管は、ウオータハンマ対策用のサージパイプ(サージタンクと同じ働きをする)で、斜面を上り、ダム湖の水位と同じ高さまで持って行っている。

ペンストックとサージパイプをつなぐTおよび隣接の短管は鋼板製で、継手はリベット継手である(長手継手は見えていない)。

鋼製短管と樽木管の接合は、樽木管の内側に鋼製短管の端部を食込ませ、樽木管の外側から、ワイヤで締め付けている。



12.近世・近代日本の上・下水道

近世・近代の主な日本の上・下水道(西暦は稼働した年)

1631年 五郎兵衛揚水:蓼科山源流から佐久の水田、上水、防火用水。総延長22km。
(参考:江戸幕府開幕は1603年)

1632年 辰巳用水:犀川より11kmの隧道と水路で金沢城下町の防火用水、上水、金沢城の空堀への水を引いた。

1654年 玉川上水:多摩川羽村の取水口から高低差92m、43kmの水路で江戸四谷大木戸迄運び、そこから埋設された石樋、木樋により、江戸城、武家屋敷、町屋に運んだ。

1670年 箱根用水:芦ノ湖の水を、灌漑、生活、防火用水として、箱根外輪山を1.8kmのトンネルで潜り、静岡県側裾野まで運んだ。

1870年(明治3年) 横浜関内下水道:横浜関内の外国人居留地に陶管を埋設した下水道敷設。

1884年(明治18年) 東京神田下水道:神田駅周辺に英国式卵形下水道614mを敷設。現在も使われており、東京都文化財(9. 近世パリの下水道-3 参照)。

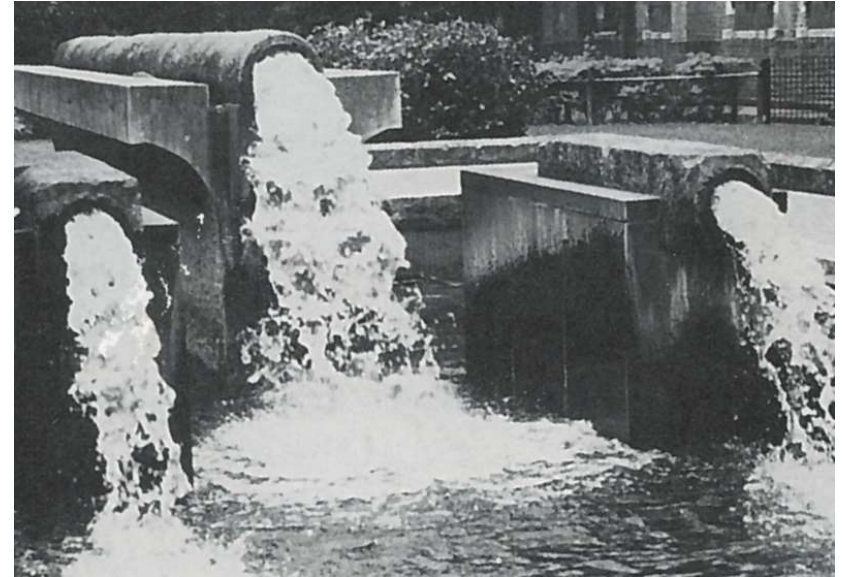
1887年(明治20年) 横浜上水道:日本初の近代水道。相模川、道志川合流地点を水源とし、ポンプで昇圧した水を径460mmの鑄鉄管2本で運び、途中、浄水場などを通過し、横浜市まで延長44kmを運ぶ。

12.近世・近代日本の上・下水道 辰巳用水

辰巳用水は、上流は隧道、下流は水面のある暗渠、開渠を繰り返して、兼六園の曲水を経て霞ヶ池に入る。霞ヶ池からくぼ地を經由して金沢城までの送水は下図のように、伏越と呼んだ逆サイホンを採用している。池の水位と最も低いくぼ地のとの高度差は11.4mで、0.1MPa強の内圧がかかる。この区間は、当初は松の木管が使われたが、1843年以降石管に逐次取り換えられた。

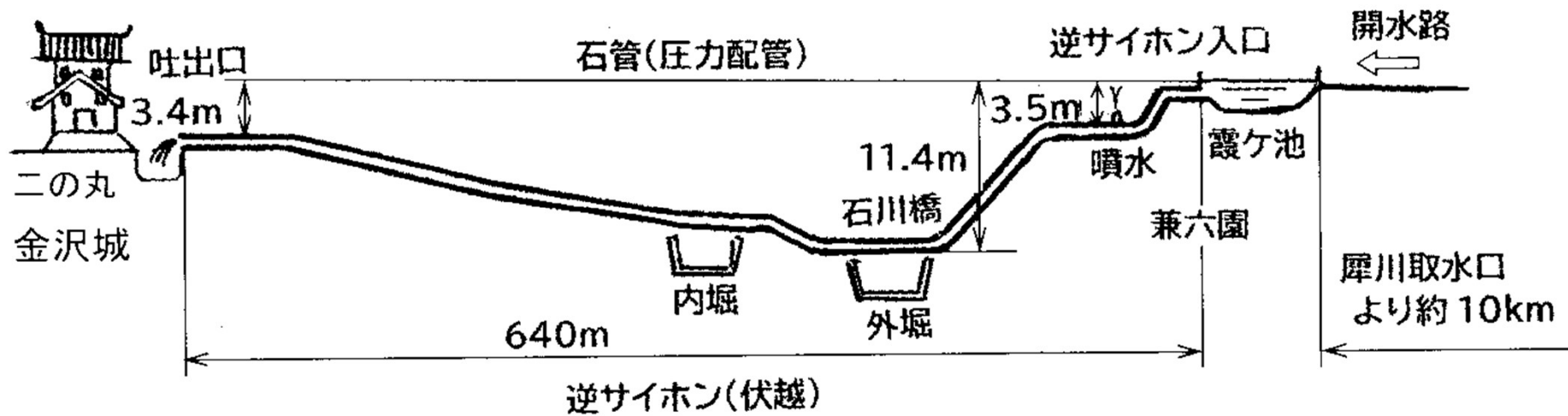
石管のサイズは一辺390mmの正方形の中央に直径180mmの孔を穿った長さ1mほどのものを繋ぎ合わせ、地表から深さ50cm程の所に埋設した。

管と管の接合部はタング&グリーブ型(6. 古代ローマの石管、参照)で、接合には松脂、石灰、檜皮、硫黄、鉛粒などが使われた。



辰巳用水に使われた石管
(石川県立歴史博物館前庭)

資⑫1

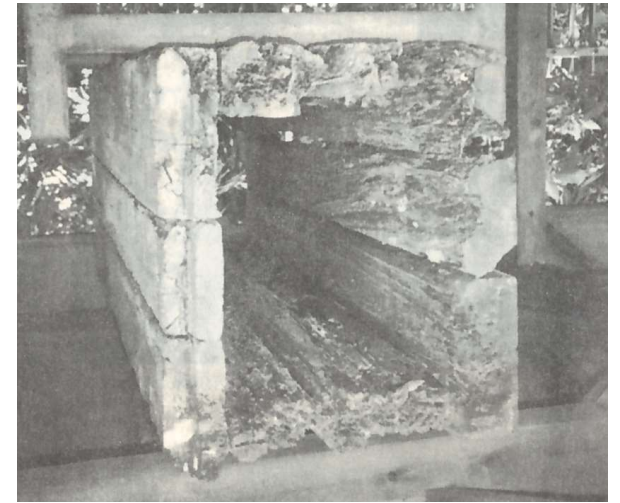


辰巳用水の逆サイホン

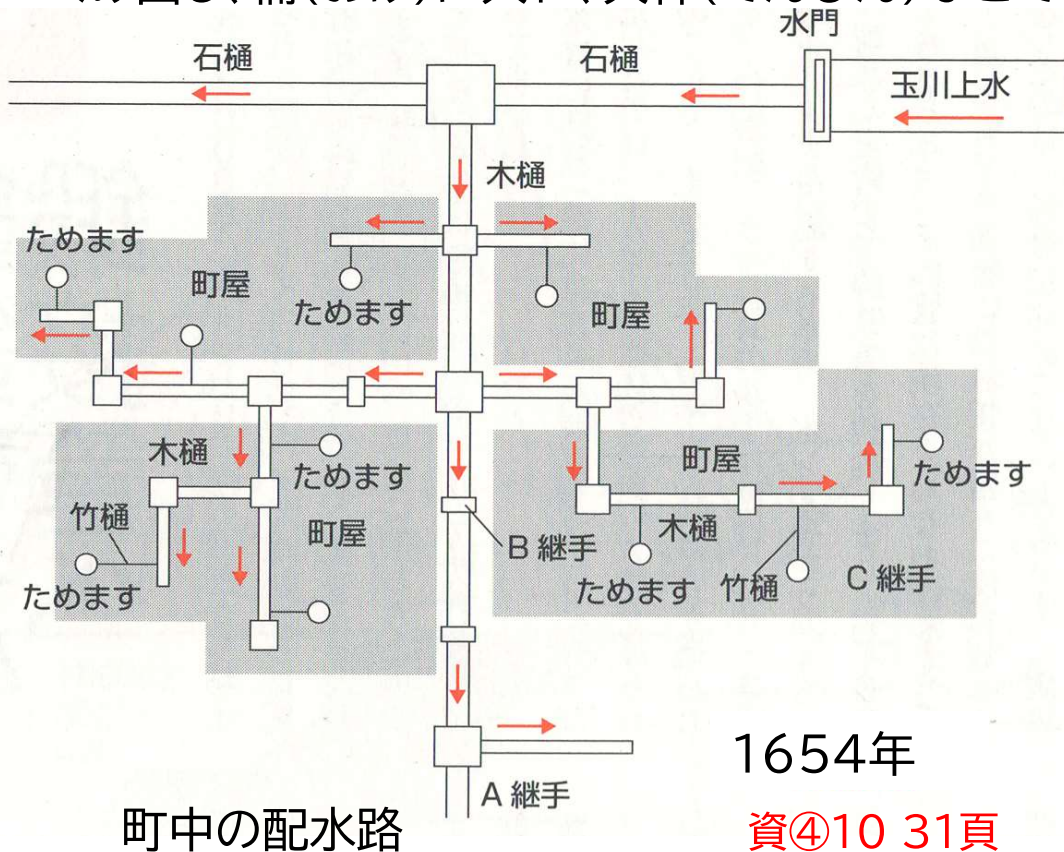
資④10 29頁

12.近世・近代日本の上・下水道 玉川用水

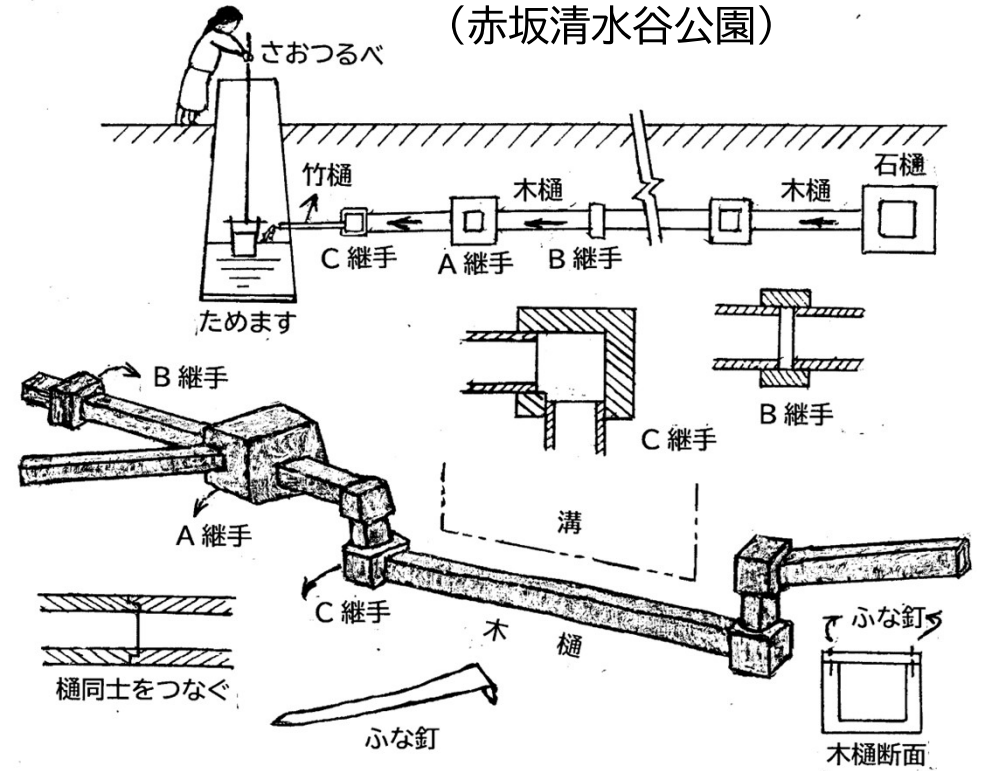
多摩川羽村から川のように流れてきた玉川上水は、四谷大木戸以降は石樋(せきひ)、木樋(もくひ)を使った埋設管となる。大木戸から四谷見附までの石樋は、幅1.2m、高さ1.5mの大きなものであった。四谷見附から先は主に木樋で、材料は硬い檜や松が使われ、その断面は正方形で、手斧やのみで凹形にくりぬいた後、天板を打ち付けたものと、4方を板で組んだものがあった。木材を結合する合わせ面は、水が漏れないよう、檜の皮などを柔らかくほぐしたものを詰めた後、長い「ふな釘」で固定した。水は町中に随所に設けられた「ためます」に配水され、竿釣瓶(さおつるべ)でくみ出し、桶(おけ)に入れ、天秤(てんびん)などで家に運んだ。



木樋の遺跡 資料⑫1
(赤坂清水谷公園)



資④10 31頁



資④10 32頁

12.近世・近代日本の上・下水道 横浜上水道

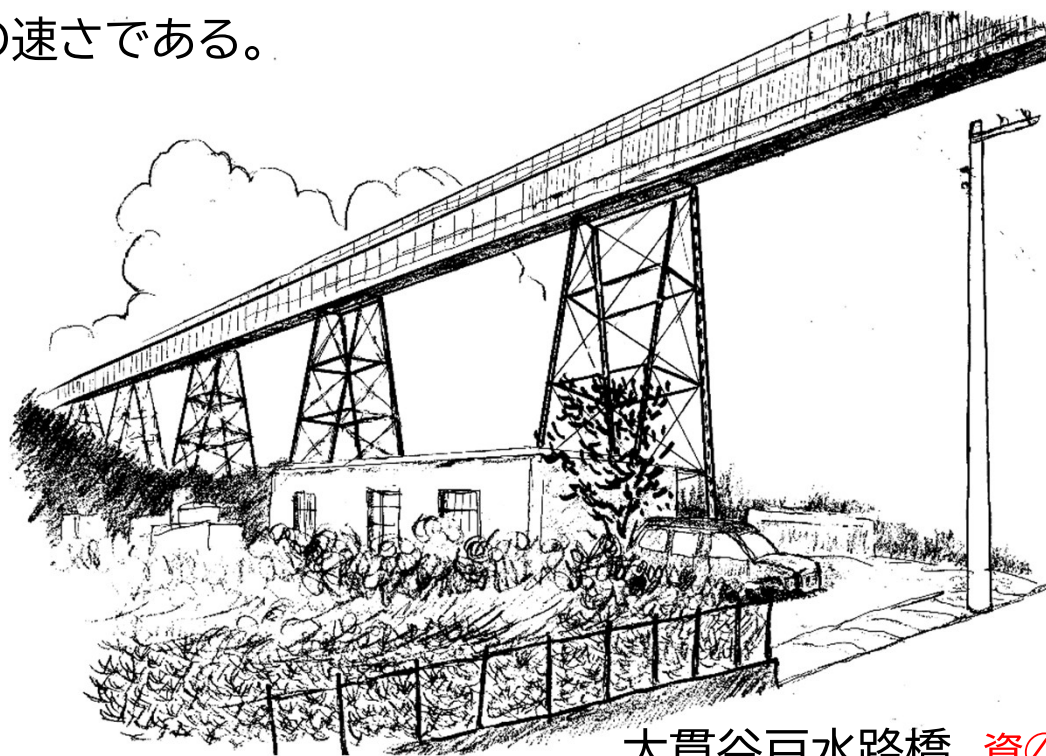
神奈川県は、英国人技師H・S・パーマーに横浜市への水道の調査と設計を依頼、パーマーの案に基づき1885年(明治18年)建設に着手、1887年(明治20年)、道志川が相模川に合流する地点を水源として、ポンプアップされた水が延長44kmの鑄鉄管(下左図)を通過、横浜市民に届けられた。日本最初の近代水道である。

関東大震災、そして太平洋戦争により、一時的に給水人口の激減した時期もあったが、戦後の人口増加と生活の変化により、水需要が急増し、数次にわたる拡張工事が行われた。1947年には、水源として相模ダムが建設され、相模湖からいくつかの隧道を経て、川井浄水場につながった。

川井浄水場から西谷浄水場にする水路は当初、口径1350mmの鑄鉄管を使用する計画であったが、工事費の削減を図るため高さ2.4m、幅2.2mの開渠方式に変更された。そのルートは、3つの多摩丘陵の尾根道をつなぎ、丘陵の間には長さ306mの大貫谷戸水路橋(下右図)を含む三つの水路橋をかけ、西谷浄水場に達した。この間の距離およそ7kmを6/10000の下り勾配の重力流により流下、流速は人の歩くほどの速さである。



開業当初使用された鑄鉄管 資⑫1



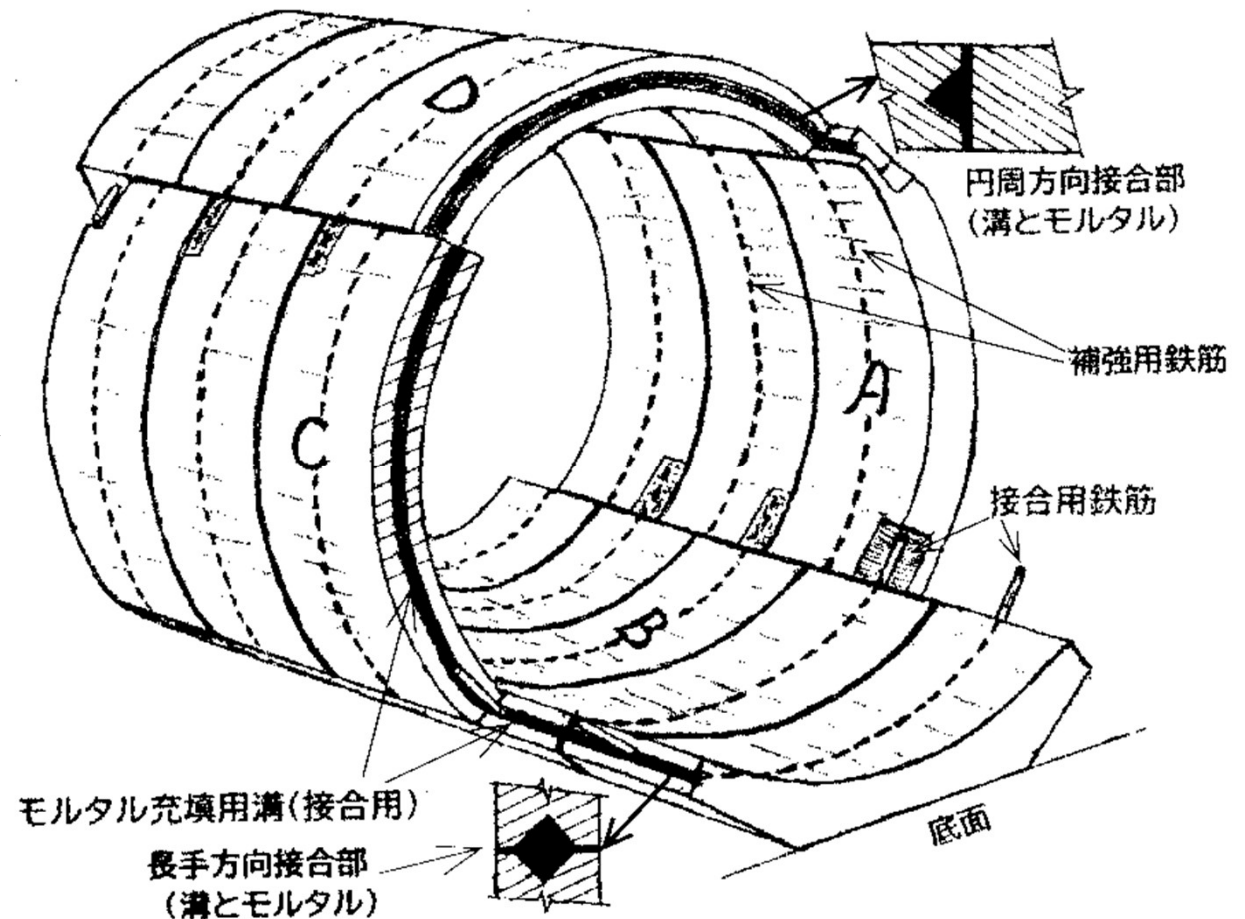
大貫谷戸水路橋 資④10 34頁

13. 近代のコンクリート管(1)

20世紀初頭 鉄筋コンクリート分割ブロック管

下水道の敷設は20世紀に入ると、レンガを一つずつ水路の形に組み上げてゆく古代から続いていた労働集約的作業方法に対し、右の図のように内径900～2700mmの大径のコンクリート管を円周上で幾つかに分割したブロック状のものを工場で製作し、それらを現場に運んで、管に組み立てる工法が使われるようになった。

この方法は、更に大幅に省力化されたプレキャストコンクリート管(工場で一体に造られたコンクリート管)の時代をつなぐ、短い橋渡しの役を果たした。



13. 近代のコンクリート管(2)

1910年 ヒューム管

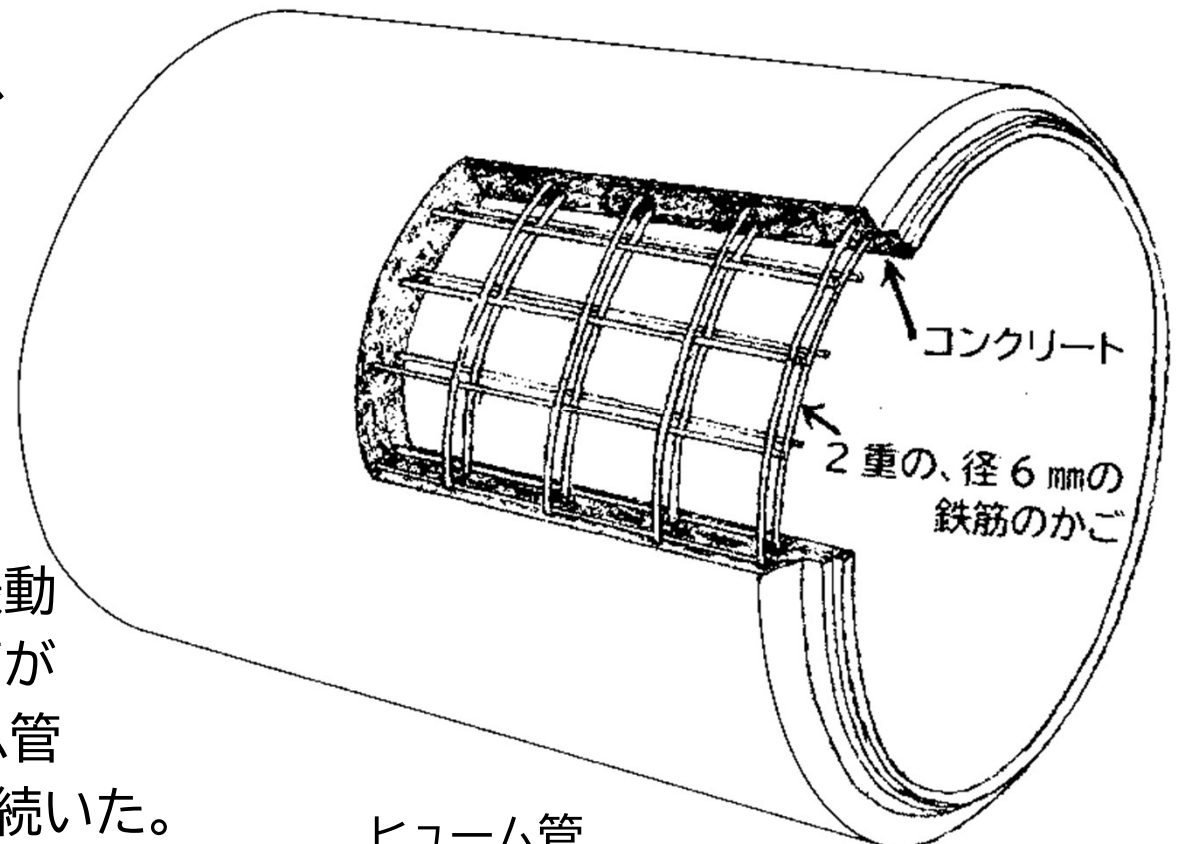
コンクリートと鉄のハイブリッド管が、農業国、オーストラリアのW.Rヒュームによって1910年に発明され、ヒューム管の名で、世界中に普及した。

ヒューム管は、鉄筋を筒状の籠のように編んだものを埋め込んだコンクリート管(下図)であるが、鑄型を高速で回転することによる遠心力で緻密なセメント層を作るところが特徴である。

日本では、「手詰め管」と呼ばれた、型枠の中に鉄筋を入れ、コンクリートを打ち込んだ、強度の低い管が1908年(明治41年)から使われていた。

ヒューム管の日本での特許権は1921年(大正10年)に得られた。

日本では、この特許に抵触しない振動によってコンクリートを締め固める管が製造され、遠心力を利用するヒューム管とが並存する時代が1960年代まで続いた。



ヒューム管

14. 出典一覧-1 2023 4.05

※はWeb site、Wellcome Collection に収納されている資料。

符号	出典
③ 1	wikimedia commons 作者:Dr. Erwin Schwentner, Januar 2005. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/77/Petra.aqueduct.jpg?2005060322331 
③ 2	By Cristian Chirita Wikipedia https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/8e/Dacian Water Pipe.JPG/1200px-Dacian Water Pipe.JPG?2018051202225 
③ 3	奈良文化財研究所 飛鳥資料館 (住所)〒634-0102 奈良県高市郡明日香村奥山601 問合せ0744-54-3561
④ 1	Photograph, 1910/1936? Date:[1910/1936?] Reference:581971i public domain mark ※ https://wellcomecollection.org/works/u2jq4a3j
④ 2	Reference:36241i Public Domain Mark ※ https://wellcomecollection.org/works/j5z3f7ck
④ 3	Engraving by C. Labruzzo. approximately 1765-1818 Date:[1794] Reference:37330i Public Domain Mark ※ https://wellcomecollection.org/works/n7srkggw
④ 4	Date:1810 Reference:36238i Public Domain Mark ※ https://wellcomecollection.org/works/unrepeqc
④ 5	Coloured aquatint with etching by M. Dubourg, Date:1820 Reference:36729i Public Domain Mark ※ https://wellcomecollection.org/works/tz7xskwn
④ 6	Photograph, Date:1880/1920? Reference:582011i Public Domain Mark ※ https://wellcomecollection.org/works/vcfzsked
④ 7	Engraving. Reference:36658i Public Domain Mark ※ https://wellcomecollection.org/works/r7zu74bt

14. 出典一覧-2

符号	出典
④ 8	Photograph by C. Clifford. approximately 1819-1862 or 1863 Reference:36825i Public Domain Mark ※ https://wellcomecollection.org/works/r7zu74bt
④ 9	Process print. Reference:36604i Public Domain Mark ※ https://wellcomecollection.org/works/xkvp8drg
④ 10	西野悠司 編著 ものがたり 配管の歴史 (一社)配管技術研究協会発行、日本工業出版
④ 11	Lithograph by . George Edward. Madeley Reference:36717i Public Domain Mark ※ https://wellcomecollection.org/works/d4qv8bc6
④ 12	記事:Wikipedia Roman aqueduct https://en.wikipedia.org/static/images/mobile/copyright/wikipedia-wordmark-en.svg •画像: CC BY-SA 2.5view terms Created: 22 March 200 ※ https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fa/Aq%C3%BCeducte_de_les_Ferreres_Tarragona_3.jpg
⑤ 1	Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) ※ https://wellcomecollection.org/works/cue929p9
⑤ 2	By Roesler Franz, 1880 パブリック ドメイン(Author died more than 70 years ago) ※ https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7c/SboccoDellaCloacaMassimaByRoeslerFranz.jpg
⑤ 3	Drawing by Liddel, 1860 パブリック ドメイン ※ https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6b/Rome_Liddell_1860_Cloaca_Maxima.jpg

14. 出典一覧-3

符号	出典
⑥ 1	From Wikimedia Commons, the free media repository. <u>CC BY-SA 2.0</u> ※ https://commons.wikimedia.org/wiki/User:Geagea/Israel/2015_November_14
⑥ 2	Przemyslaw Sakrajda-Own work <u>CC BY-SA 3.0</u> File:Castellum PS01.JPG Created: 15 September 2010 ※ https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d6/Castellum_PS01.JPG/800px-Castellum_PS01.JPG
⑦ 1	By Andrew Dunn - Self-photographed, CC BY-SA 2.0 ※ https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=606468
⑦ 2	File:Lead water pipe, Roman, 20-47 CE Wellcome L0058475.jpg Uploaded: 17 October 2014 <u>CC-BY-4.0</u> ※ https://commons.wikimedia.org/wiki
⑧ 1	デイドロ=ダランベール『百科全書』パリ、25巻」751-1772年(初版) 図版199 阪南大学貴重アーカイブス
⑧ 2	デイドロ=ダランベール『百科全書』パリ、25巻」751-1772年(初版)図版193 阪南大学貴重アーカイブス
⑧ 3	今井 宏 著 パイプづくりの歴史 70頁の図3-13を基に作図、80頁
⑧ 4	Puppe,G.Stauber:Handbuch der Eisenhuettenwesen,Walzwerks Wesen Vol.1 (1929) 255~258頁
⑧ 5	今井 宏 著 パイプづくりの歴史 75頁

14. 出典一覧-4

符号	出典
⑩ 1	記事:Wikipedia Égouts de Paris https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89gouts_de_Paris 図:Création : 22 février 2019 <u>CC BY-SA 4.0</u> https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d7/Plan_des_%C3%A9gouts_de_Paris_en_1836.png/774px-Plan_des_%C3%A9gouts_de_Paris_en_1836.png
⑩ 2	東京下水道局
⑩ 3	https://media.licdn.com/dms/image/C5112AQEmze-9oLt2mg/article-inline_image-shrink_1000_1488/0/1527661937282?e=1684972800&v=beta&t=EsY1pfrq_CqdH2DaVIA1bTeQeRh1yCAwjllWosS7okM の図より作図
⑩ 4	Wikimedia Commons <u>CC BY-SA3.0</u> https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d5/FogneParigi_pnc04.JPG?20060601185326
⑩ 5	作成:20世紀初、This work is in the <u>public domain</u> in its country of origin and other countries and areas where the <u>copyright term</u> is the author 's life plus 70 years or fewer. パブリックドメイン ※ https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/40/PARIS_SOUTERRAIN_-_Les_%C3%A9gouts%2C_service_de_l%27assainissement_%3B_collecteur_du_Boulevard_S%C3%A9bastopol.jpg

14. 出典一覧-5

符号	出典
⑪1	Engraving by Henry Adlard. Public Domain Mark Reference:36364i ※ https://wellcomecollection.org/works/r97d74m7
⑪2	Lithograph by Bacler d'Albe, Louis-Albert-Ghislain, 1761-1824 Public Domain Mark Reference:36643i ※ https://wellcomecollection.org/works/asstf5bf
⑪3	Handbook of Piping byarl L.Svensen,M.E second rdi. CD.Van.Nostrand Company,1922 ※※
⑪4	Continuous Stave Pipe Installations Pacific Coast Pipe Co. T.B.Garrison 他。1914年発行 ※※
⑪5	A wood stave pipeline for a hydropower application. CC BY-SA 3.0 •File:WoodstavePipe.JPG by Duk Uploaded: 21 July 2008 https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/69/WoodstavePipe.JPG/1200px-WoodstavePipe.JPG?20080721160245
⑪6	Pacific Wood Stave Pipe、Pacific Tank & Pipe Co. 1926年発行 Public Domain Mark ※※
⑫1	西野悠司 撮影