

はじめに

明治の初期はあらゆる分野で急速に西欧技術が導入されて行く時期であった。誰もが未経験で、学ばたての知識を頼りに経験を集積し、技術を定着させて行かぬばならない時代であった。

こうした時期の代表的土木事業とされる琵琶湖疏水事業は、その内容において水力発電を世界に先がけて計画するなど画期的なものであったが、施工に因してもトンネルにおける日本初の竪坑を採用して2,400mの未知の延長を掘削する大胆な計画で、この時代の意気込みを象徴する事業であった。

本稿は、困難を極めたとされる竪坑について、新たに見出された史料等に基づき状況の復元を試みたものである。

1 当時のトンネルと竪坑の状況

先づ長等山トンネル(明治18.6~23.2)前後のトンネルの実施状況に触れておく必要がある。極く初期の短いトンネルを除外すると、

逢坂山トンネル(665m)明治11~13年

柳ヶ瀬トンネル(1350m)明治13~17年  
 が疏水着手前の実施例で河川も日本人のみの手で完成している。この後鉄道の延伸に伴っていくつものトンネルが実施されたが延長の長いものは伴々現われず、長等山トンネルを超えるものは明治29~32年の冠着トンネル(2656m)に到るまでなかった。

竪坑をトンネルに採用したのは長等山トンネルが初めてであったが、金屋鉾山においては明治以来近代化が著しく、明治8年当時すでに300mを超える竪坑が出現していた。(明治工業史鉾山篇)

トンネルにおける竪坑はその目的から、掘削長の短い鞍部や谷筋に設けられることになり、湧水の問題が大きい。この点に因っては炭鉱も同様で、同じ時期の明治18年に着手された三池炭鉾勝立竪坑(計画深118m)は湧水多量のため中止されている。炭鉱において300mを超える長大竪坑が出現したのは、電気式の排水ポンプが用いられるようになった明治30年

以降である。

トンネルにおける竪坑のその後の実施例としては、加太トンネル(928m)明治22~23年  
 才又坂谷トンネル(1630m)明治29~32年  
 冠着トンネル(2656m)明治29~32年  
 小佛トンネル(2545m)明治30~33年  
 がある。その後は掘削技術や掘削速度が向上して、長大トンネルにおいても特に竪坑まで計画することは無かったと見えて、昭和36年北陸線に10kmを超えるトンネルが出現し、工期短縮があらためて必要となるまで実施例がある。

又 長等山トンネル

琵琶湖疏水は、水運、灌漑、水力利用を目的として大津より京都市内まで全長19,493m(内延3830m)のトンネルの水路を開削し、毎秒8.4m³の水を疏通せんとするもので、総工費125万円で明治18年6月より23年4月に到る間に完成した。

疏水延長中6ヶ所のトンネルがあるが長等山トンネルは最長で2436m、勾配1/3000、断面4.8×4.2m(17m²)の馬蹄形(初期の鉄道トンネルの断面には同じ)である(図-1)。下流側より741mの処に深さ45mの竪坑を施工し、両坑口と併せて3ヶ所から掘削、明治18年8月に着手し、明治22年2月竪坑全面、23年2月に完成した。本稿の主題は竪坑であるので、トンネル本体に因しては主題に関連の深い部分の記述に留めることにしたい。

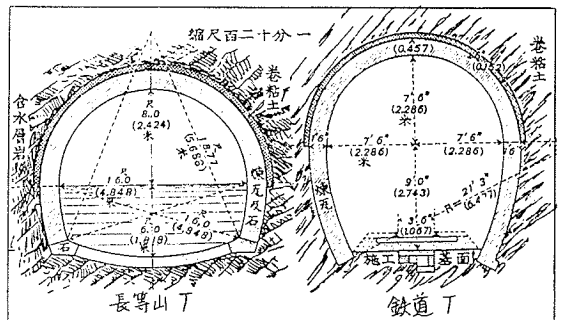


図-1

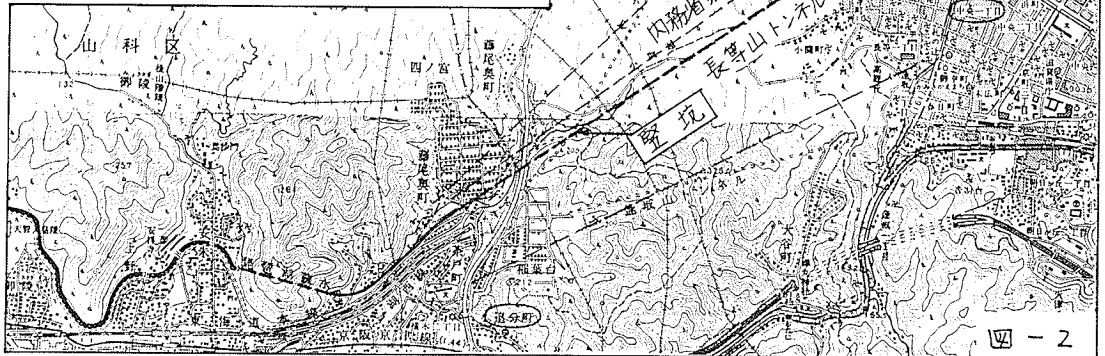
## 2.1 地質

長等山は標高360m、比良山系の南端に位置し琵琶湖と山科盆地を隔てている。比良山系は100万～300万年前(オ3期末～オ4期初)にかけて隆起し、その後各地の隆起によって琵琶湖や山科盆地が造られて行ったと云われる。長等山にはこれ等造山運動の際の断層が数多く存在する。

昭和49年に国鉄湖西線が建設され、国鉄長等山トンネルが排水トンネルの上方約6mを交差して建設されている。その際の地質調査や施工の記録によると断層は東西のもの及び南北のものがあり、東西方向のものが古いと云われている。基盤岩はスレート、チャート、砂岩からなる古生層で、大部分はスレートである。古生層を貫ぬいて花崗岩や石英斑岩がある。また掘削に際しては数100m毎に地層が変化しその変り目には必ず湧水を伴う断層が存在したと記録されている。

## 2.2. トンネルの中心線

トンネル中心線の決定については、「本道位置の選定たる、排水事業中の大問題にして、…(中略)…或いは山城、此江の国境なる三条街道追分の北方より直ちに大津市街の中央に出んと云い、或いは藤尾村のうち現位置の北方より大津北方尾花川に出んと云い、又内務省土木局の選定は両端は現トンネルより北方40間、東端は同以上100間とせしむ、遂に前各線路によらずして特に現線路を用いたるものは、隧道距離を短縮せしめんと、古国越花崗岩脈の部分を通りぬくと、及び工事之急進せしめんため井状坑を開掘するの便あるを以てなり。」と排水要誌(P307)に記述されている。当時の踏査のみによる調査であったが、かなり正確に地質に因る情報を得ていることと、慎重に中心線を決定した事情がうかがえる。(四-2)



## 2.3 施工順序

掘削順序はいわゆる日本式で、1)頂設専坑で入って、2)両袖の切抜げを行ない、3)大背を掘削する。この後一ヶ部の覆工を施工し最後に側壁を仕上げる方式が標準にとられている。

地質が安定しており湧水も少なかった西坑口からの掘削では1)2)3)が連続して一気に掘削されており、専坑貫通をいって西坑口からの掘削では専坑のみが先行して2)3)は専坑貫通後に掘削されている。また坑口が崖錐崩土であり、全体に地質が不安定であった東坑口からの掘削では、約半年おくれで切抜げが行われている。レンガによる覆工は、最も安定していた西坑口からの中間部が最初に施工され、崖錐部分であった東坑口は最後に施工されたがこの際落盤事故を起し、65名が内部に閉じ込められたが全員無事救出された2ヶ月後に復旧を終っている。

## 3 堅坑

### 3.1 堅坑の設計

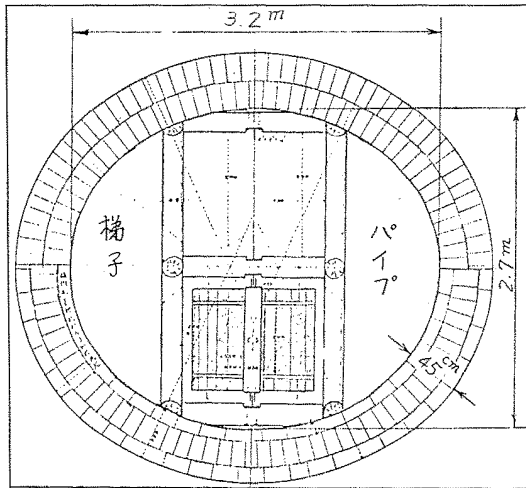
長等山トンネルにおいて堅坑が採用された理由は、工期短縮と換気のためと云われている。換気は当時トンネル施工上苦勞を要した問題で、換気設備とその運搬に多量がかかる上に十分な効果が期待できるとあって、下流側の西坑口からの掘削途中においては急換気用に小堅坑が掘削されている。

### 3.1.1 堅坑の位置

トンネルにおける堅坑の位置は、坑外設備を設ける適当なスペースが得られ、資材の搬入に便があり、土捨場が近くにとれる、そして堅坑延長は極力短かくしたい、と云った条件を重ねて行くと一般に地頂上は好ましくない鞍部や谷筋に設けることになって来る。長等山トンネルにおいても堅坑が掘削された位置は、小峠越間道が通ずる東西方向の大きな谷戸に沿ってできた谷の地頂であった。

### 3.1.2 断面形状及び使用区分

長さ3.2m、短径2.7mの内径断面を有する楕円形で、内壁はレンガで仕上げている。断面の使用区分は3つに仕切り、中央に鉄製ガイドに支持されたリフト2基を配置し、左右は丈夫な蒸気ポンプの給汽、排汽、排水用パイプ、送風、伝声用のパイプ、昇降用梯子などのスペースとなっている。(図-3)



堅坑断面図 図-3

### 3.1.3 構造諸元

全長(地上からトンネル一斉まで)45m、トンネル中心の直上に位置している。今日の堅坑の多くは坑産設備のスペース、壁体重量の支持などの点から堅坑をトンネル中心からずらしているが、当時は中心線測量の便、土砂搬出の便を優先して直上に計画したようである。上部5.5mは坑口部分で直径5.5mの円形、トンネル上部より7mの位置で壁体重量を周辺の岩盤に支持している。この支持長以下の部分はトンネル完成後に、堅坑本体の内側に接する小断面のもので仕上げられている。

### 3.1.4 堅坑設備

堅坑完成後の石坑掘削における主要設備は次のようなものであった。

巻揚機(川崎造船製)

リフト2基

送風機

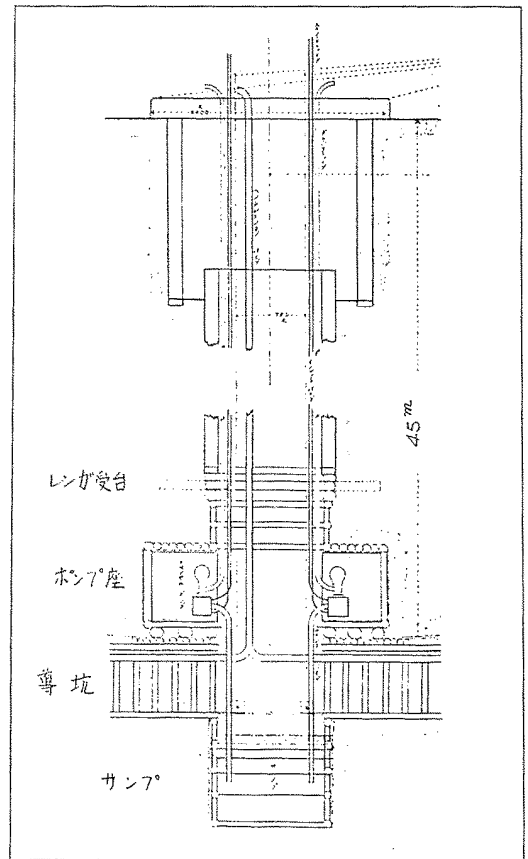
削岩機用エアコンプレッサー(英国製)

蒸気機関(川崎造船製)2基各10馬力

排水ポンプ(英国製)2基

同上用ボイラー

トロ軌道



堅坑立面図 図-4

### 3.2 堅坑の施工

#### 3.2.1 施工記録と進行図

この度堅坑の施工記録である「シャフト廻報」、その他のメモが発見されたので(写真-1)、これ等を基に進行図を画いてみた(図-5)。「シャフト廻報」には、堅坑着手以来毎日の進行量、排水量、出面、

ダイナマイト使用量、レンガ積立の進行量など”の外、処々にメモが記されている。そのメモの一部を抜粋して表-1に示す。

竪坑の掘削は明治18年8月6日に着手し、同12月6日より翌年2月1日まで58日間出水のため中断し、2月2日から掘削を再開して4月の始めにトンネルの上部に到達し、引き続きレンガ受台、サンア、ポンプ座など坑底部の構築を行う一方、併行して4月18日から竪坑のレンガ巻立てに着手し、19年8月6日、丁度1年目に完成した。トンネル本坑の掘削は6月中旬以降行われたとされているが、竪坑壁体のレンガ巻立作業との競合、多量の湧水と軟弱地質のため、進行が軌道に乗ったのは、両側は9月、東側は11月に入ってからであった。掘下げの進行量は18cm/日、レンガ積立の進行量は32cm/日であった。

### 3.2.2 掘削

掘下げ時の断面は、内のり4/m×3.6mの長方形で木材による土留を施工しながら掘下げている。地質は堅硬で、のみで”穿孔しダイナマイトを多用して掘削している。湧水の中で掘削故おそらく坑中の一部に水溜を造り水を集めるがら作業を遅めたのであろう。

蒸汽ポンプは掘付てつゝに時間を要するので、発破に際しての掘付てつゝ作業は問題であったであらう。

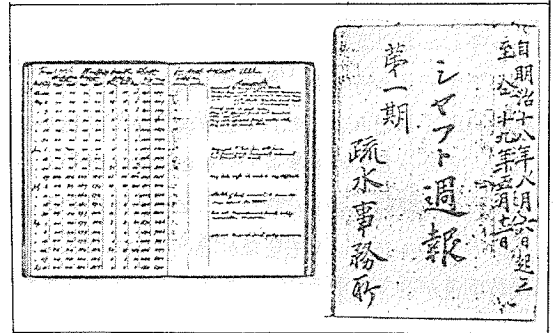


写真-1

人力揚水を行なっているがらその間に大急ぎ掘付作業を行なったのであろうか。

掘削土砂の搬出及び湧水の汲上げに用いられた巻揚料は、竪坑施工当時は人力で(写真-2,3)、湧水は1石入水桶(0.18m³)を使用して揚水されていた。

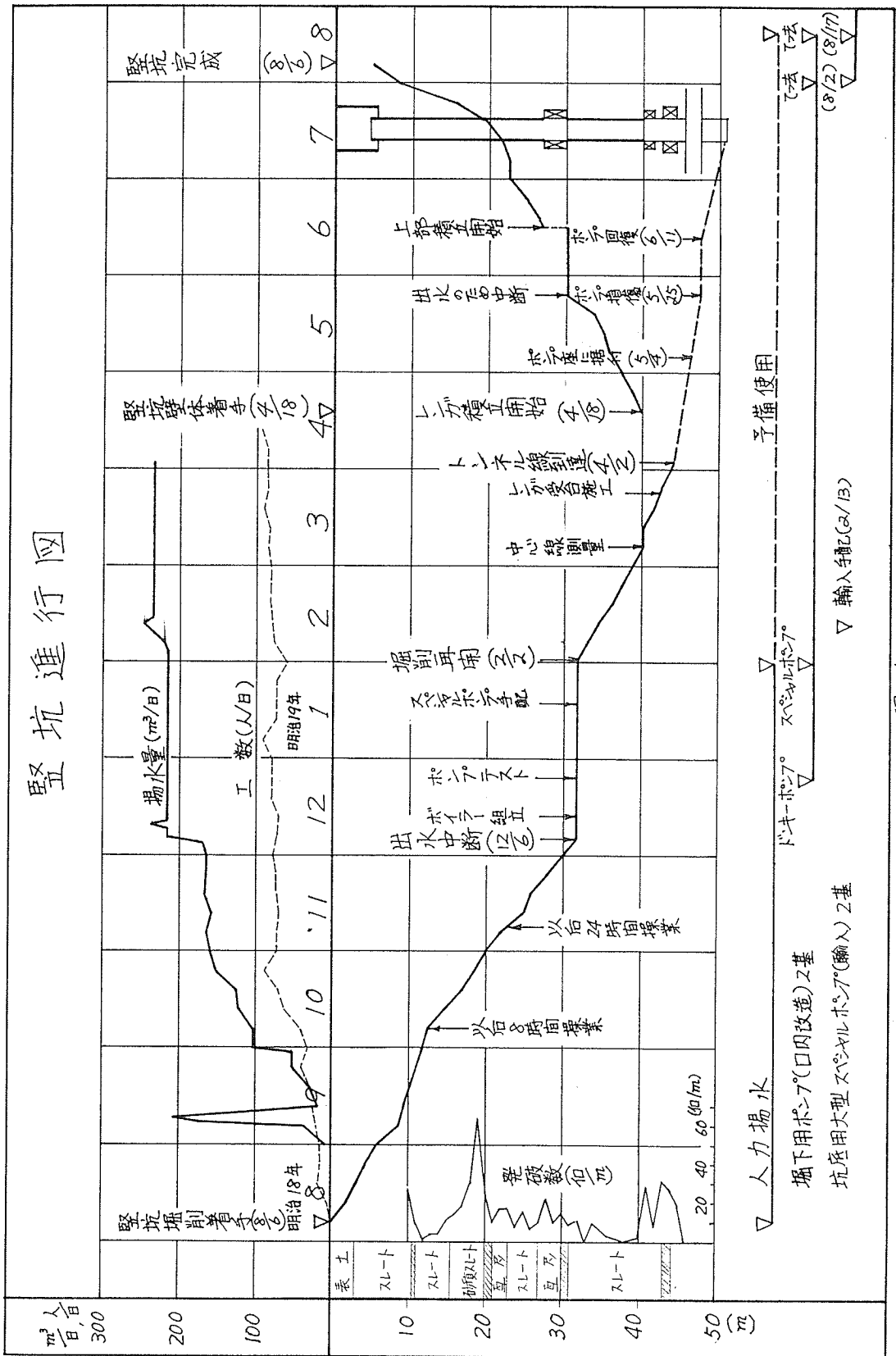
### 3.2.3 坑底部の構築

坑底の設備はポンプ座、サンア(深さ2m)、壁体レンガ受台などで固一々のように配置されており、何れも木材を使用して構築されている。掘削進行量に関する記録はトンネル上面に達した処で”終っている”のでその後の詳細は不明であるが、坑底部は才2の水脈に位置していることから、その掘削と構築は難澁しかるりの日数を要したものと考へられる。

8. 6	明治18年8月6日起工	3. 4	午後1時より同4時まで中心部測量のため汲水を止む故に進功少
17	始めて火薬を用いて石を破産す	23	レンガ積立の木材工程止りのため本坑の進功少なるし
10. 7	7日の晝夜操業し、8日の24時間に改む。而して操業時間を4度に分け晝夜4交代とす。	25	水桶 繩損壊せしを以て取代之のため進功少なるし
12. 6	東南端より突然泥水噴出し2尺余に及び、専ら汲出せしと雖一時水量に散るる能はず。午後12時に至って漸く変じて清水となる。	4. 17	成功
8	湧水益々増加してシャフトの中間25尺の所に及び	18	レンガ積立にて着手
17	初めて水量少く減せしを以て下層に湧出せる泥水を除去せしに、東南端の坑穴より泥水又はみ出し為に操業する能はず	19	湧水甚だしく為休業
25	鉦山用ポンプの掘付了る。午後1時30分より同2時30分まで試験の為運転す。此1時間中に往來の水面より1尺5寸を減す	27	足場掛の為積立せず
19. 2. 7	午前5時頃ポンプのバルブ破損す為に汲水すること能はず此時水深1尺8寸	5. 4	(スペシャルポンプ掘付)
8	午後3時10分バルブの修繕成るを以て汲水に従事す	24	足場掛並のキント込れをす。
18	午前5時頃ポンプのバルブ破損し汲水自由なるを以て進功るし	25	ポンプの回転の止むるを以て休業す(スペシャルポンプ損傷)
19	午後11時バルブの修繕成る。	28	湧水非常に孔底に滞留し排水しりるるを以て積立する能はず
20	専ら前兩日間の湧水を汲出せるを以て進功るし。此日帯水殆んど10尺に及び	6. 11	(スペシャルポンプ回復 掘削開始)
21	午前7時湧水も汲せしを以て1尺2寸の進功あり而して汲出せし水量1300石のうち下層の分250石をり	16	これまで客月25日まで32天4寸、この分中處にて止め、更に上部90尺の処より積立にて着手す。
3. 2	午前11時カクシオンポンプと蜂巣との結合せ、廻り、且つ同時に障壁物損壊せしを以て修繕の為翌3日午前2時30分迄運転を止む	27	(西側甚しく軟弱 掘削困難)
		7. 11	(シヤフトミスのため約20日を費す)
		8. 2	(大型スペシャルポンプ掘付)
		17	(大型スペシャルポンプ掘付)
		9. 15	(大型スペシャルポンプ作効良好)

メモ抜粋 表-1

# 竖坑進行図



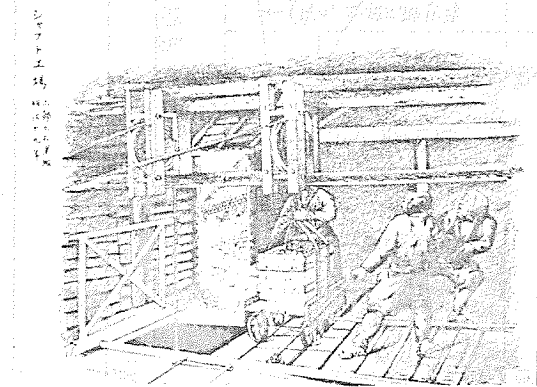
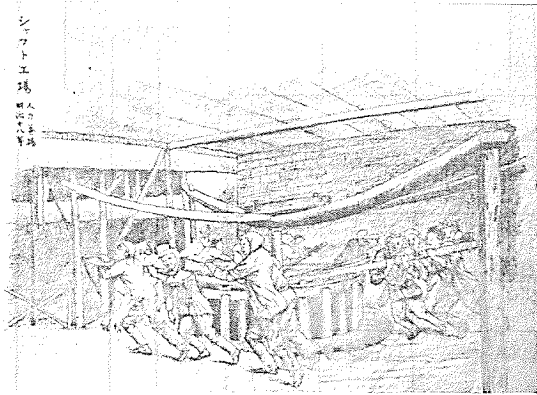


写真-2, 3

### 3.2.4 壁体の施工

壁体のレンガ積立作業は4月18日に着手し、8月6日に全施工量35mを完成した。この時期は坑底の掘削、切抜が併行して行われているが、その際の出水のため積立作業は再々中断している。11/日の施工期間のうち、延べ36日(1/3)は出水による休業日数である。下の方の出水と直接関係のない上方での積立作業が中断する理由は、巻揚料が揚水にとらわれて使用できなくなったためであろう。

積立では約10mを施工した処で中断し、別途上部より90天(27m)の処から積立を行なったと記録されている。即ちレンガ受台互中間にも施工し、そこから積立を行っている訳で、おそらく壁体重量を分散支持する目的であったと考えられる。

### 3.3 湧水の状況

壁坑の掘下げにおいては湧水に対する自由度が極めて小さい。掘削が可能であるか、あるいはどの程度困難性があるかは結局湧水量に帰着する。今日においても排水を行なっているがダイナマイトを使用して掘下げ

て行く場合は、ポンプの交替と発破に際してポンプを止めておく間の滞水量を考へると、通常の断面(内径8mとして50m<sup>2</sup>程度)で0.5m<sup>3</sup>/分の湧水量が限度とされている。これを本壁坑の断面(4.1×3.6÷1.5m<sup>2</sup>)に置き代えてみると湧水量の限度は0.15m<sup>3</sup>/分(220m<sup>3</sup>/日)であり、記録に現われる200m<sup>3</sup>/日前後の数字はかなりの湧水量であったことになる。

### 3.3.1 最近の地質調査との照合

壁坑の設けられた地質は地質の頂で説明したように東西方向の大きな断面に沿ってできた谷の地質である。前述の国鉄湖西線トンネル施工の際行われた本壁坑直近位置でのボーリング結果によると、「表層6mは疏水源削時のズリであり、その下に古生層の基盤が直ちに現われるが、亀裂が多く見られ、16m、26m、36m、50m(表層6mを差引いて当時の深度に換算すると、10m、20m、30m、44m)付近は粘土化している。これ等の深度は当時出水に遭遇した深度と一致する。

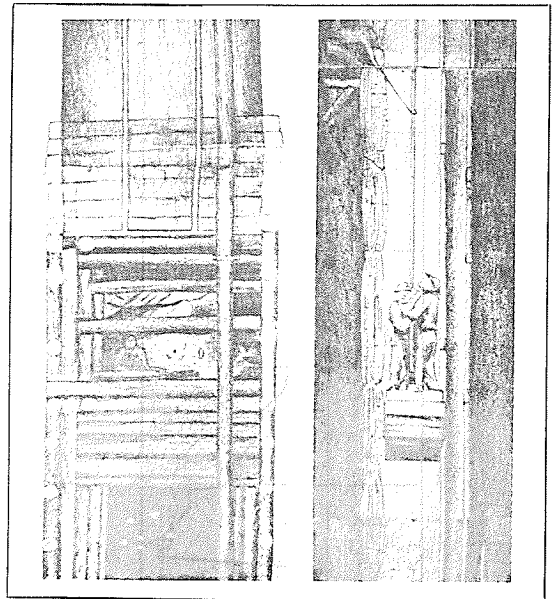


写真-4

### 3.3.2 湧水に関する記録

前記施工記録中の湧水に関する記録を拾って行くと、1) 地土より~30m間の湧水は徐々に増加して行き、170m<sup>3</sup>/日に達して行ったが人力で揚水を行なっている

がら、系統を多用しての掘削が順調に行われている。  
途中10m付近で一時的に200m<sup>3</sup>/日の湧水があったが  
これは1～2日で直ぐに収まっている。

2) 12月6日、30m付近で1の水脈に遭遇する。  
この時の記録は、「東南端より突然泥水噴出し2尺余  
に及ぶ。専ら没出ると云へども一時水量に抗する能は  
ず。午後12時に到り漸く變じて清水となる。」とあり、  
断面内の被圧水が断層粘土と共に噴き出したことは  
明らかである。2日後の記録に、「湧水増々増加し  
てシャフトの中間75尺の処に及ぶ」とあるのを、地  
表面より75尺と解すると水深は、105尺-75尺  
=25尺=9mであった事になる。この時の湧水量は  
220m<sup>3</sup>/日と記録されているが水位が9mでの揚水量  
であるので、掘削可能な状態まで水面を下げた時の  
揚水量は更に大きなものとなったであろう。

3) 12月25日に到り、到着したドンキーポンプの  
テスト運転を行っている。この時1時間には15尺の水  
位の低下をみたところ。このポンプはシリンダー- 8  
cm強、ストローク21cmの小型ポンプで、0.1m<sup>3</sup>  
/分程度の能力のものと推定される。従つてこの場より  
100m<sup>3</sup>/日程度の揚水力が加はったことになるが、  
この後も揚水量は216m<sup>3</sup>/日のまま変化していない  
のは、人力揚水のみが計測できるかためであろうか。

4) 2月2日より掘削が再開された。この後トンネル  
上部(44m)に達するまでの間は、湧水の状況に大  
きな変化はなかったようである。掘削再開以後揚水量  
の記録が全く変化していないのはやはり正確な記録に  
なっているかと考へるべきであろう。

5) 44m以下の深度に入った処で再び多量の湧水に  
遭遇しているが、トンネル線に到達したこの深度以後  
は揚水量の記録がない。この時期には堅坑のレンガ巻  
立が坑底部の構築と併行して施工されており、この時  
期の記録に、「排水しきりなるを以て獨立する能  
はず」という記事が随所に見られるので、蒸気ポン  
プは再び故障を起し、その都度人力揚水を行なつて  
いたことがうかがえる。

### 3.4 排水の状況

次ぎにこのような出水に対して、どのような排水手  
段を講じて行ったかをみることにしたい。

### 3.4.1 当時の排水手段

明治の初め頃から炭鉱では蒸気ポンプの導入が始ま  
り、疏水当時には富貴炭鉱等ではかなり使われてしま  
っていた。当時の蒸気ポンプを大別すると次のよう  
なものであった。

1) 直動型：スチームシリンダーにポンプのロッド  
が直結されたもの

2) ダルム型：蒸気の圧力を直接流体の吸込、排出  
に利用するもの

3) 回転型：渦巻き式、歯車式など

これ等のうちで堅坑の掘下げに使用可能なポン  
プとしては、回転型はせまい坑内に動力を伝えるのに  
不都合が多く、またダルム型も揚程が大きくなると急  
激に能率が下るため、結局泥水に適応し難い欠点はあ  
るが、小型の直動型が使用されていた。直動型にも種  
々の型と大きさがあり、小型のものは総稱してドンキ  
ーポンプ、その他は給汽バルブの作動方式等によって  
ノールズ型、スペシヤル型などがあつたが、スペシヤ  
ル型が多く用いられた。

### 3.4.2 当初の排水計画

堅坑の掘下げについては着工当時ポンプの予配を行  
つておらず、人力揚水設備のみで着手していること、  
その後かゝるの湧水量に対してもポンプの予配をして  
いること等からみて、貴重品の割には取扱いが不便  
で信頼性の低い蒸気ポンプを採り、人力排水のみ  
でせめてしまふかと考へていたらしい。事実人力揚水  
は能力を發揮しており、出水直前にはかゝるの揚水量  
に達していたが(170m<sup>3</sup>/日)突破を多用しての掘  
削が順調に進んでいる様子が進行回からもうかがえる。

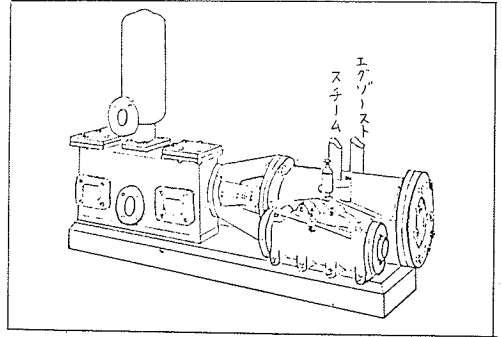
堅坑掘削後の本坑の掘削は揚水量の増加と出水に対  
処するため大きな揚水力を持つ必要があり、坑底に大  
型の蒸気ポンプを設置することを考へていた。

### 3.4.3 ポンプの予配

30m付近の大出水で人力による汲み上げでは掘削  
不可能になり、ここで初めて堅坑掘下げ用に中古品の  
小型ドンキーポンプを予配する。このポンプは12月  
25日に試運転を行ったとの記録があるが故障が多く  
十分に稼働しなかったと見えて、掘削再開には到らず  
1月18日に再度少し大きなサイズのスペシヤルポンプを  
大塚製鐵より購入の予配をしており(写真-5)このホ

ンが稼働したと思われる2月2日より掘削は再開されて  
いる。こうして4月2日にトンネル先に到達し、  
5月4日にはポンプ座ができて、掘下げ用のポンプをこ  
こに固定して排水を行うことになる。

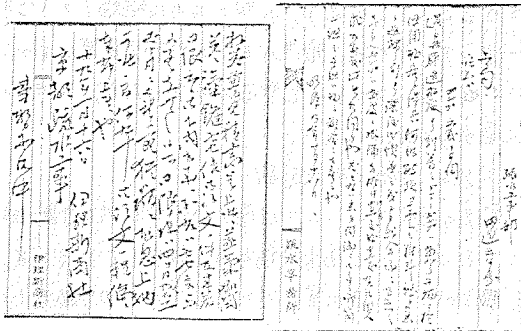
本坑掘削用の大型スペシャルポンプの奇蹟は、掘下  
げが再開され掘削が軌道に入り始めた2月13日に、  
イリス商会と通じて行われている。当時大型ポンプは  
その都度輸入であり、早期奇蹟が必要であった筈であ  
る。おそらくこの時期になってようやく堅坑を完成で  
きる見通しを得たのであろう。この時のイリス商会の  
見積りには、細品までに4~5ヶ月を要する、と記さ  
れており、ポンプの到着は「ポンプ届付」という記  
録のみえる8月と考へられる。なお8月6日にはレン  
カの巻立てが完了しており、ポンプ届付けのタイミン  
グは合っている。



本坑掘削用スペシャルポンプ 四一六

1ヶ月間というのがある。

当時の苦勞を伝えるものに、「新たに英国より購入  
した大型ポンプの取付け作業中に小型ポンプが故障し  
て、折からの出水のため双方のポンプが水没しそうに  
なった。水没させてしまつては万事休すとなるので水  
桶により必死の汲出し作業を続け、奇蹟的にポンプの  
修理ができた危殆に脱した。」という説が多くて記録で  
伝えられている。(この時ポンプ主任が殉職している。  
) この時期についてであるが、「明治19年2月、  
予定の深さ170天に達し、ここに外口より取寄せた  
る大型ポンプ2基のうち1基を取付けんとす最中…  
…」と明治工業史に記述されている外、時期に因つ  
て記録は見当らない。このポンプは前述の2月に奇蹟  
したものと考へられるのでこの出来事は19年8月で  
あると私は考へる。



イリスの見積書

ポンプ奇配伺書

写真-5

種 別	任 務	能 力	使用期間	
掘下用	人力揚水	1石 桶	0.18m³	18.8~19(?)
"	ドンキーポンプ	3.5呎×6呎	0.1 m³/分	18.12~19.8
"	中型スペシャルポンプ	8呎×16呎	0.6 "	19.2~19.8
坑底用	大型スペシャルポンプ	8呎×24呎	1.0 "	19.8~完了迄
"	"	"	1.0 "	19.8~"

堅坑で使用されたポンプ表 表-2

### 3.4.4. ポンプの稼働状況

ポンプは操作の不慣れと泥水の汲み揚げが重なって、  
カンパを構築して泥水が処理されるまでの間は、バル  
ブ等に再び故障を起しその都度長時間に亘って掘削は  
中断され、人力による揚水に依存するようになってい  
る。故障期間の長かった例では、5月25日~6月11日の

ポンプがこのようなる状況であったことから、此場の  
のない堅坑からの本坑掘削においてポンプの故障は重  
大問題であったに違いない。切掛けを行おうのを止め  
しにして導坑の貫通のみを急ぐなど施工計画面での配  
慮を行なっている。「出口との導坑が貫通して数時間  
後に大出水が起り、幸い貫通後であったので事なきを  
得た。」というのも、倥倥であったとは云へ施工計画  
上の配慮が効を奏した事であった。

### <参考文献>

- 1) 琵琶湖疏水工事：工学会誌才68巻抜粋
- 2) 琵琶湖疏水要誌：京都市参事会（明23）
- 3) 琵琶湖疏水工事圖説：田辺翔郎（明24）
- 4) とんぬり：田辺翔郎（大11）
- 5) 明治工業史（建築篇、土木篇）
- 6) 唧筒：内丸兼一郎（昭11）
- 7) 琵琶湖疏水及水力使用事業：京都市電氣局（昭15）
- 8) トンネル施工法：高山昭外（昭51）