

# ブルネル父子とテムズ河第1トンネル(1)

村上 良丸\*

## はじめに

人類がはじめて、水底トンネルの掘進に成功したのは、1843年<sup>1)</sup>である。青函トンネルに先立つ145年の昔に、ロンドン市内のテムズ河底に誕生したこのトンネルの長さは452 mにすぎないが、外幅11.3 m、外高6.9 mの長方形掘削断面(78 m<sup>2</sup>)は、当時、世界一の大きさだった。

レンガで1 m厚の覆工をし、1.2 m厚の中央仕切壁を設けて、2本のアーチ路にし、交通の往復を分離したこのトンネルは(図-1)、テムズ河底の悪臭に満ちた下水堆積土の中を通った。自重140 tの大シールド機を使い、不屈の闘志で、この空前の難工事を完遂したのが、ブルネル父子である。

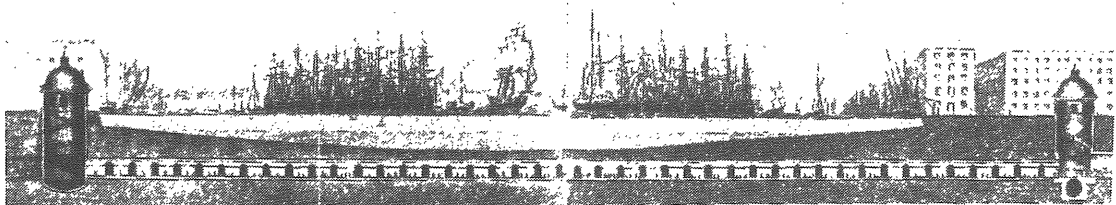
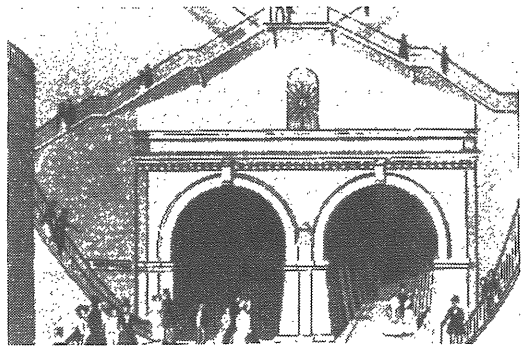


図-1. テムズ川第1トンネル(完成当時—1845年—の絵)

(上) 立坑下の入り口部

(下) 縦断面

\*宮崎大学教授

## 父ブルネルの生いたち

Marc Isambard Brunel は、1769年<sup>2)</sup>に、ノルマンディ地方の郷土 (gentleman)<sup>3)</sup> の家に生まれたフランス人である。歩くと同時に、計算とスケッチをしたこの神童を、聖職につけさせようとした両親は、彼をルアン (パリ西北 120 km) の修道院に入れたが、ラテン語やギリシヤ語に全く興味を示さないため、聖職には不適として送り返えされた。田舎の大工の店で、機械いじりにふける少年ブルネルを今度は、海軍に進ませようとして家庭教師をつけた所、三角法を習うやいなや、ルアン聖堂の尖塔の高さを測定する器具を工夫して、先生を驚かしたり、親類の海軍士官がフリゲート艦に案内したら、その艦長室にあった象限儀 (quadrant: 天文観測器) を見ただけで、そっくり同じものをつくった。それは彼が17歳になった1786年<sup>4)</sup>に、はじめて大西洋を横断して西インド諸島に行った航海のときに利用したといわれ、その航海では、鍵盤つきの楽器を考案している。

この航海から帰国した1792年<sup>5)</sup>には、フランス革命 (1789~99年) が進行し、チュイルリー宮殿にいたルイ16世 (在位1774~93年) が捕えられたし、地方ではジャコバン党による反革命派狩りが熾烈を極めていた。このため、王党派に属していたブルネルも、émigrés (亡命フランス貴族) として、米国に亡命せざるをえない羽目となった。

## 発明家ブルネル

ニューヨークに渡ったブルネルはまず、オンタリオ湖地方の地図作りと、ハドソン川と結ぶ運河のルート選定作業に従事した。この時、後にフランス国王ルイ・フィリップ (在位1830~48年) となった亡命中のオーレアン侯に出会ったといわれる。

その後、建築家になったブルネルは、ニューヨーク市の Park Theater (公園劇場) を設計して、同市の主任技師となり、砲台づくりを担当する傍ら、新しい首都ワシントンの連邦議事堂の競争設計に優勝した (高価すぎたので不採用)。

こうして米国滞在が5年をこえて、29歳になった1798年<sup>6)</sup>の一夜、ワシントン内閣で初代財務長

官をつとめた Alexander Hamilton (1757~1804年) の晩餐会に招待された。この時、亡命フランス貴族から、英国海軍造船所の非常に複雑な製作工程の話を書いたブルネルはすぐ、「船を数ブロックに分けて製作し、それを組立てる方式」を思いついた。同時に、ルアンで別れた相思相愛のイギリス娘 Sophia Kingdom が、ロンドンにいたこともあって、この新しい造船方式を英国海軍に売込むため、渡英を決意した。

この年、ロンドンに渡ったブルネルは、数カ月後にソフィアと結婚したが、英国海軍への売込みには、多少、手間どった。それでも1808年<sup>7)</sup>に、ポーツマスに建てた新工場は、大変な評判となり、1814年<sup>8)</sup>には、ロシア皇帝アレキサンダー1世 (在位1801~25年) も来訪した。このとき、同皇帝は、ブルネルを招へいして、帝政ロシアの首都ペテルスブルグ (現在のレニングラード) に造船所とつり橋をつくるよう頼んだといわれる。

この頃からブルネルの発明活動は、著しく加速された。ロシアから輸入された大オーク材を切断する蒸気運転の円盤式機械鋸を発明して、造船所に設置したのに続いて、英国陸軍用の軍靴を1日400足の割合でつくる世界最初の「流れ作業方式」の工場を建て、その運営には戦傷帰還兵をあてた。

1815年<sup>9)</sup>にウェリントン将軍 (1769~1852年) の率いる連合軍が、この軍靴をはいて、ワーテルローで、ナポレオン1世を破るや、母国フランスに戻ったブルネルは、パリの美術工芸学校 (the Conservatory of Arts and Crafts) 用の蒸気エンジンを設計したり、同市の上水道計画に参加した。この頃発明した複動式蒸気エンジンは、英海軍の「Regent」号にとりつけられ、蒸気船時代の口火を切った。そして1817年には、前述のアレキサンダー1世の要請で、ペテルスブルグの Neva 川横断用つり橋の計画を練った。こうしてブルネル

1) 天保14年、明治維新の25年前

2) 明和6年、賀茂真淵没

3) 爵位はないが、家紋を許された貴族の次位

4) 天明6年、田沼意次罷免 (天明の大飢饉: 天明3~7年)

5) ロシア使節ラックスマン根室にくる。林子平 (海国兵談の筆禍) 禁錮

6) 寛政10年、近藤重藏のエトロフ探険。本居宜長の「古事記伝」完成

7) 文化5年、間宮林蔵のカラフト探険; 英船フェートン号、長崎に来港

8) ウィーン列国会議。文化11年、伊能忠敬の「大日本沿海全図」完成

9) 文化12年、杉田玄白の「蘭学事始」完成

の技師としての名声は、ヨーロッパ中に知れ渡った。

### シールド機のアイデア

この Neva 川つり橋の代案として、水底トンネルのことも考えていたブルネルは、イングランド Kent 州の海軍基地にある Chatham Yard (造船所) で、多数の孔があいたオーク材の板片を拾い、それが *teredo navalis* と呼ばれる「舟喰い虫」のあけたものであることを知った。甲殻で保護されたこの小さな軟体動物の、見事な穿孔作業に感心したブルネルは、それをヒントに、「軟弱地山にトンネルを掘進する作業員を防護するため、既設覆工に反力をとるジャッキで前進させる、移動式ケーシングないしセル」を考案して、「シールド」<sup>10)</sup>と名付け、特許をとった (1818年)。

このように絶好調だったブルネルが、意外にも 1821年の数カ月間、刑務所に入れられた。それは前述の軍靴工場倒産に伴う負債賠償不履行のためだった。しかしこの倒産は、戦争の終結とその後の軍縮で、陸軍が受け取りを拒否した軍靴が、8万足にも達したことに基因していた。

King's Bench (高等法院王座部) 刑務所でのブルネルの生活は、妻ソフィアとの同居や近所への外出が許されるほど、ゆるやかなものだったが、この判決は、誇り高いブルネルの自尊心を著しく傷つけた。彼は前述のロシア皇帝からの書簡を公開して、ロシアへの出国を要求した。

ブルネルの釈放と慰謝料5,000ポンドの政府支出に尽力したのは、大將軍ウェリントン卿だった。こうしてイギリスにとどまったブルネルが、人類最初の水底トンネルを、ロンドンのテムズ川に建設することになった。

### テムズ川トンネル計画の沿革

シーザーがテムズ河畔にひらいたロンドン市は、大英帝国の「世界の都」として繁栄を続けているが、感潮区域である河口からロンドン橋までの約 100 km 間が港湾で、橋が架けられない (跳開橋としての Tower 橋が開通したのは、1894年<sup>11)</sup>である)。それでこの横断に水底トンネルを提案したのは、Dodd という人が最初で、1798年

のことだった。

Dodd の提案をうけて、Vazie が1802年に、現在の Tower 橋の下流 1.6 km のところの Rotherhithe-Limehouse 間に水底トンネルを計画し、Chapman がプロモータになって、1807年に、Thames Archway Co. という会社を設立した。この会社の技師長になった Richard Trevithick は、鉱山技師として、1801年に最初の蒸気機関車を試作した人だった。

1807年に、ロザヒース側の陸岸に、直径 3.3 m の立坑 (深さ 23 m) を降ろしたトレヴィシックは、その底から、高さ 1.5 m、上幅 0.6 m、下幅 0.9 m の小導坑を、テムズ河底に掘進した。このパイロット・トンネルが対岸に達したら、それを正規の断面まで拡大する予定だったが、314 m 掘進して、あと 140 m という所で、1808年春に河底が抜けて水没し、この導坑は文字通り、水泡に帰した。

その後、5年間にわたって工事再開の努力を続けたこの会社は、最後に500ポンドの懸賞金をかけて、新しい工事方法を募集した。しかし49本の応募案を審査した結論は、「人間の工夫には限界があり、水底トンネルのアイデアは、実現不可能な夢である」ということになり、同社は解散した。

### ブルネル式シールド機の特徴

ブルネルが出獄した1822年頃のロザヒースとワッピング (Wapping) 間のテムズ川横断には、350人の船頭が当り、乗船客は毎日3,700人に達していた。そして馬車は、3.2 km 上流のロンドン橋を迂回しなくてはならなかった。

この陸上交通のネックを解消するためにブルネルは、冒頭に述べたような大断面の水底トンネルを計画した。そしてそれをつくるための道具として、特許出願当時に考えていた円筒ケーシングの代りに、図-2に示すような、幅 0.9 m で、3層になった外高 6.9 m の鑄鉄製単体フレームを、横に12台並列して、各セル内に掘削員を1人ずつ入れ、切羽を 10 cm 掘る毎に、背面につくったレンガ覆工に反力をとるスクリュエ・ジャッキで推進するセル式シールド機を考案した。

10) Shield: 中世の騎士や歩兵が使った楯

11) 明治27年、日清戦争始まる

この機構は、図-3に示すように、①の前面切羽に、丈夫な角材をあて、それを1本ずつ②のフロント・ジャッキで押え、掘削時には、それを上から順に1本ずつはずして、10 cm 掘る毎にすぐ戻した。③は、鑄鉄製の天井防護板で、④の鉛直ジャッキを使って上・下した。⑤は底版で、この単体フレームの沓を形成し、⑥の鉛直ジャッキとは、球面支承で接続された。⑦は推進用の主ジャッキで上・下端に1台ずつ設置されていた。これらのジャッキはすべて、スクリー式だった。

0.9 m×1.8 m の小室36個からなる空前絶後のこのセル式シールド機を、1822年にブルネルが、ロンドンの土木学会 (the Institution of Civil Engineers) で発表したとき、大喝采をうけ、これなら、水底トンネルが造れると誰もが信じた。

1824年に資本金16万ポンドの株式会社 (Thames Tunnel Co.) が組織され、主任技師としてのブルネルに3年間、年俸1,000ポンドを支拂う他、シールド機の特許使用料5,000ポンドを、またトンネル完成時には褒賞金として、さらに5,000ポンドを支給するという契約が締結された。

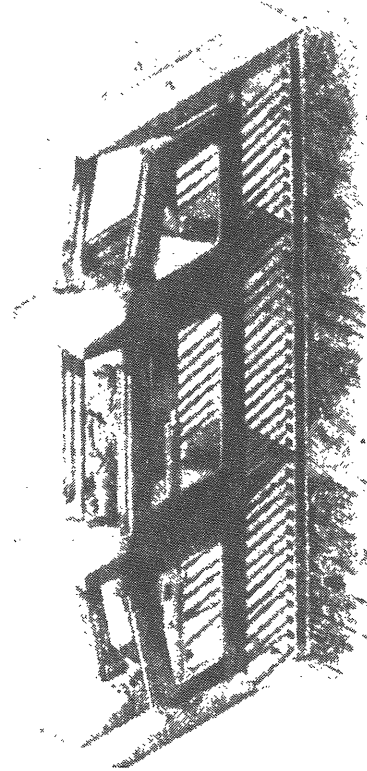


図-2.1 ブルネル式シールド機  
3層式の単体フレーム  
(幅0.9m、高さ6.9m)

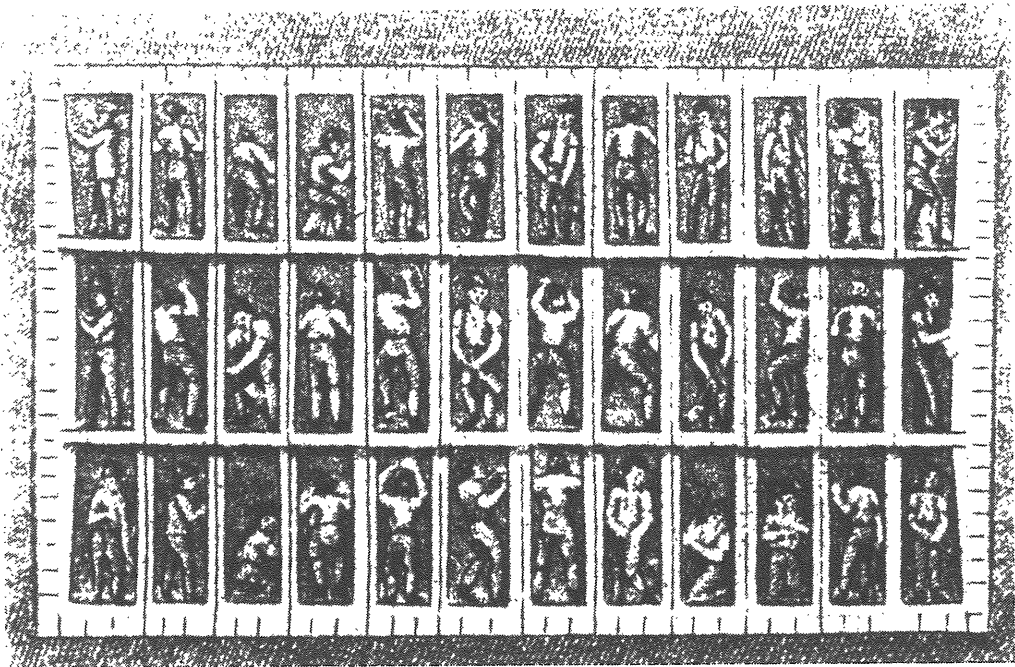


図-2.2 ブルネル式シールド機

単体フレーム12台を並列し、セルになった36室内で働く掘さく員たち、切羽のセル式シールド内で働く坑夫とレンガ工；移動足場に集められるセメント樽や、レンガ、監督する号令；後方の床上には、一輪車を押しズリ運搬人、技師が見える

## 華々しい着工

このトンネル工事は、1825年<sup>12)</sup> 3月2日に、北岸のロザヒースで、立坑覆工用の数枚のレンガを、教会の鐘の音にあわせて置く儀式で始まった。200人の名士が招待されたこの起工式には、「豪華な食事 (sumptuous collation)」が出された。

鉄製の円形脊上に、外径 15 m、高さ 12.6 m、壁厚 0.9 m の円筒ウエルが、レンガでつくられた。その内部の地盤を掘ることで、この大ウエルは、毎日約 10 cm 下げられ、同年 8 月に、地表下 15 m に達した。これから下は、深さ 25.6 m まで素掘りした後、抜掘・逆巻工法でレンガ覆工し、その底で上述のセル式シールド機を組立てた。この 1 号機の全重量は、約 80 t だったといわれる。

立坑工事と平行して、ルート沿いに数本の地質調査用ボーリングが行われ、地質家は、このルートが、硬くて青色の不透水性ロンドン粘土 (London Clay) 層を通ると判定した。これを感じたブルネルは、トンネル天端の最小土被り厚を 4.2 m に選び、0.76% の勾配でシールド機を推進することにした。これはトンネル底が、最高水位下 22.8 m に達することを意味した。

1825年11月28日から始ったシールド機によるこの水底トンネルの掘進ほど、全世界の注目を集めた土木工事はないであろう。ロンドン駐在の各国大使は、英国政府に、この工事の進捗状況の発表を求めたし、外国へのイギリス人旅行者は必ず、この工事のことを尋ねられるので、予め調べておく必要があった。そしてこの工事現場を見ておくことが、ロンドンの名士としての必須条件になった。

## 初期の施工状況

シールド機の 1 回の推進は、15 cm 以下に抑えられたので、3 交代の連続作業にもかかわらず、1826年1月26日までの 2 カ月間に、僅か 4.2 m の覆工しかできなかった。そしてこの日、切羽で最初の出水事故があり、パニック状態になって、排水ポンプの運転が停り、立坑に深さ 3.6 m の水がたまった。これは、青粘土中にあった砂のポ

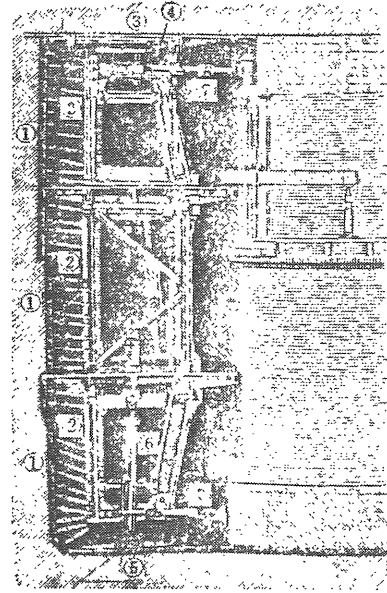


図-3 ブルネル式シールド機の機構説明図

ケットからの透水が原因だった。ブルネルは、岸から粘土袋を投入させて河床を固め、立坑でのポンプ排水を続けて、被害箇所を修復をした。

約 1 カ月後に再開されたシールド機の推進は、青粘土層中では順調だったので、株主や重役たちの要望で、1 回の推進量を 45 cm にまで増すことになった。また、固定給の代りに、覆工の出来高で支拂う方式に切替えたため、後ろのレンガ工が、前の掘削工をせき立てた (図-4)。こうして施工速度は上ったが、やがてシールド機が大きく蛇行し、その修正に大変な苦勞をした。

かくして、1827年2月上旬までにできたトンネル長は僅か 90 m で、3 年の工期内に完成する見込みが危うくなり、会社の財政も悪化した。このため重役会で、見学者から 1 人 1 シリングをとることが決定され、完成部分のトンネル内では、音楽会も開催された。1 日のトンネル見学者数は、700 人をこえたといわれる。

しかしながら、切羽の換気状態は劣悪で、2 月には、息子のブルネル (Isambard Kingdom Brunel, 1806~59年) を含む 4 人が病気になる、そのうちの 1 人は、ついに死亡した。

父ブルネルは、4 月 2 日に船から、つり鐘形の

12) 文政 8 年、外国船打払令がでる

潜かん (diving bell) を降ろして、河底の状態を調べた。そこは完全なヘドロで、鉄棒が簡単にシールド機の天端に当たる状態だった。トンネルの切羽には、有毒ガスが噴出し、作業員が一時的に盲目になったり、失神する事故が続いた。こうして2人の号令と数人の坑夫、レンガ工が入院したため、5月1日に作業員たちのストライキが起きた。これは数日で解決し、主謀者が解雇された。

### 1 回目の大出水事故

ストライキは解決したが、切羽の状況はますます悪化し、掘削土に混って河底にたまっていた靴の締め金や真鍮片などがでてきた。そして5月12日には、4月2日のダイビング・ベルによる水底調査時に置き忘れたスコップが、切羽から回収された。

こうした状況下で、163 m できた1827年5月18日の朝6時すぎに、トンネル全体を水没させる最初の大出水事故が発生した。前日の夕方には、Raffles 夫人たちの多勢の見学があったが、切羽はすでに危険な徴候を示していた。18日の午前2時にブルネルは、副技師長の Richard Beamish と交代して帰宅し、息子のイサンバードが立坑の

上にある事務所に残って仮眠した。

トンネル内で指揮していたビーミッシュは、この出水事故の状況を次のように記録している：「この日の満潮は朝6時だったので、5時頃はまだ、地山は保持されていた…。6時すぎに、左から2番目の上段 No.11室にいた熟練坑夫の Goodwin が、大声で助けを求めたので、異常に気付き、No.9室の大男 Rogers に応援を命じたが、彼が着くと同時に、泥水が轟音を立ててトンネル内に流れ込み、No.11室のレンガ工と一緒に、3人を押し流した……。灯火の大半は消え、水は見る間に腰まで来た。あたりには、セメントの空き樽や矢木が浮び、完全に絶望的な状態になった。私は全員に退去を命じた……。彼らは文字通り、濁水の中を命からがら立坑へと逃げ、そのタラップを伝って地上に出たが、初老のエンジン係りの姿がなかった。ロープを持って立坑を降りた若いイサンバードが溺れているこのエンジン係りを救出した。かくして、トンネルの既成部分 163 m を完全に水没させたこの大出水事故では、1人の死者もなかった。

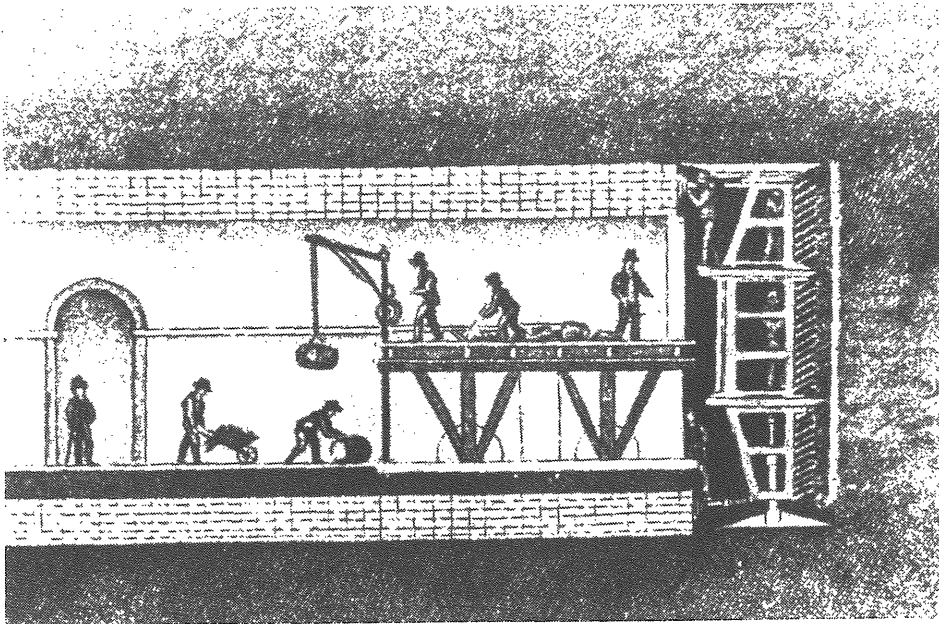


図-4 テームズ川第1トンネル内での作業状況

## 復旧作業と盛大な工事再開式典

テームズ川とつながったトンネル内の水を抜くために、父ブルネルは、はしけから粘土袋を河底の穴に投入することを提案したが、重役会では、150tの粘土を積んだ筏を沈める案が決定された。この筏は傾いて着床したため、役に立たず、それを苦勞して取除いた後、やはり、粘土袋の投下で穴を塞いだ。その効果を見るために、ダイビング・ベル (diving bell) が降ろされ、ブルネル父子と他の技師たちが、河底状況の確認をした。

こうして漸く手動ポンプでの排水が効くようになって、トンネルの上部に隙間ができたので、7月27日に、息子のイサンバードと副技師長のビーミッシュがボートで切羽まで行き、泥土の山によじ登って、シールド機が無事なことを確認した (図-5)。その報告をうけた重役の2人も、再確認を希望してボートにのったが、その1人が途中で、不注意に立ち上り、頭をトンネルの天井にぶつけたため、ボートが転覆し、漕いでいたオール係を溺死させてしまった。

粘土袋の追加投入での河底の補強、トンネルの排水、ヘドロの除去作業によって、工事が再開できるようになった1827年11月10日に、トンネル内で盛大な工事再開式典が開催された。近衛歩兵連隊 (His Majesty's Coldstream Guards) の軍楽隊の演奏下で、トンネル内のアーチ路 120 m 区間で、50人の招待客の正餐会が催された。この時、ギリシャの独立戦争を支援していた英・佛・露の連合艦隊を率いる Edward Codrington 提督 (1770~1851年) が、ギリシャ南部ペロポネソス半島の要港 Navarino で、トルコ・エジプト艦隊94隻を撃破したというニュースが発表された。

「水とマホメットを打倒せよ！ ワインとコーディントン提督万才！」という景気のよい祝杯の歓声が、テームズ河底のトンネル内に何度も響き渡った。

### 2 回目の大出水とイサンバードの負傷

このお祭り気分は、すぐ冷めた。1828年<sup>13)</sup> 1月12日の朝6時に来た1番方の Ball と Collins に、現場を指揮していた息子のイサンバード・ブ

ルネルは、一番右側の No.1 セルを開くように命じた。固く締っていたそのの矢木を、2人が外すと同時に地山がくずれ、汚水が噴出した。イサンバードを含む3人が、この水を止めようとして、木材支保工を建てる努力をしたが、無駄だった。水勢は増す一方で、ガス燈の灯も消え、水は腰までできた。立坑を目ざした彼らは、大声で、入坑してくる後続の作業員に警告した。

この時、前述の作業台がくずれ、イサンバードは、木材に右足をはさまれた。強力な意志力で、それをはねのけたイサンバードは、びっこをひきながら、立坑に辿りついたが、ボール、コリンズを含む6人は、遂に戻らなかった。足を折り、内臓を傷めたイサンバードも数カ月入院した。

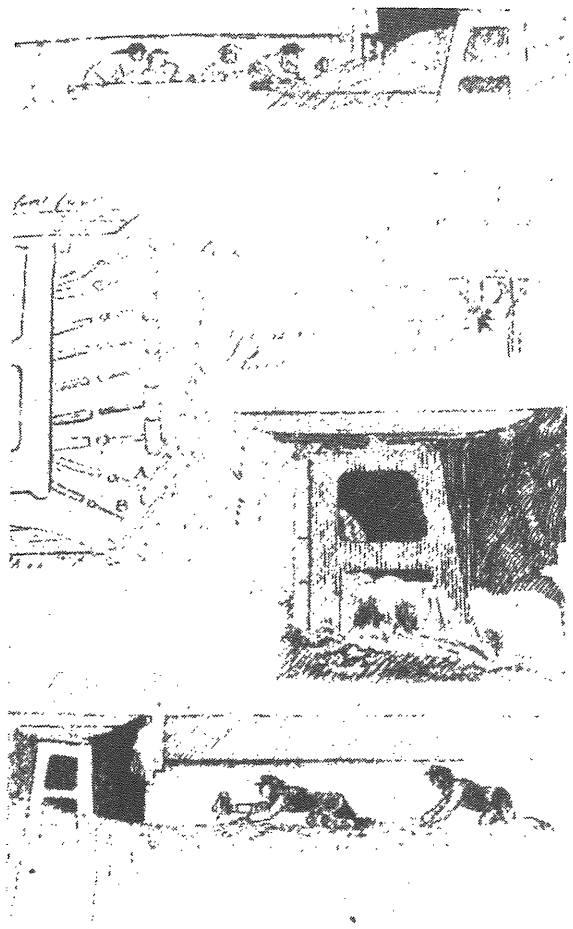


図-5 1827年5月18日の1回目大出水後の息子ブルネルと副技師長 Beamish によるトンネル内の状況調査を記した「ブルネルの日記」の中のスケッチ

13) 文政11年、シーボルト事件

## 工事の中止

6人の犠牲者を出した2回目の大事故で、会社の財政は破産状態に陥った。このトンネルの最も強力な支援者であるウェリントン卿の努力にもかかわらず、公債は集らず、ついに8月に工事は一時中止となった。その時までには父ブルネルは、4,500袋の粘土を河底の穴に投下して止水し、トンネルの排水に成功していた。

一時中止の指令をうけたブルネルは、完成部分182mの2本のアーチ路の壁に化粧しっくいを塗り、先端のシールドにはレンガを詰め、その前に大きな鏡を据えた。こうして華やかに照明された未完成のテムズ河底トンネルは、やはりロンドンの名所として、多くの観光客を集めた。当時のウィットに富むロンドン人の1人は、このトンネルを「ワインの貯蔵庫」にする提案をしたといわ

れる。

この工事中止期間は、1834年末までの6年間に及んだ。この間に、息子のイサンバードは、Bristolの企業家たちが設立したGreat Western Railway Co.の技師長公募に応募して、採用された。ロンドンーブリストル間の同線を英国最初の広軌で建設し、Boxトンネル(2,926m)やクリフトン橋、ハンガーフォード橋など完成し、大西洋横断の大汽船グレート・ウェスターン号(1838年)、グレート・ブリテン号(1843年)、そしてグレート・イースタン号(1858年)などを次々と建造した彼の大業績と非業の最後は、別の機会に紹介しよう。

(つづく)

## 道と県の境はどこ？ —公海上の青函トンネル—



「海底トンネルを抜けると北海道だった」という青函トンネルが10日貫通するが、トンネル内のどの地点を青森県と北海道の境界とするか、関係当局は頭を痛めている。トンネルの中心部は津軽海峡の公海下で、国際法上もこの部分は「日本の領土ではなく、単にわが国の管轄権が及ぶ地域」。「供用開始時までには何とか決めたい」と気の長い自治省をしり目に、事故発生の場合出動を迫られる警察は7日までに、「とりあえず、10日の貫通点を管轄境界とする」ことを決めた。

全長53.8kmの青函トンネルが完成すれば、青森県と北海道は“陸続き”になり、新たに道県境を決めなければならないが、問題はトンネルが公海下を通っていること。その地底も日本の領土とは言えず、56年5月、参院決算委で宮沢官房長官(当時)は「公海下のトンネル内は、わが国の管轄権が、領土におけると同様、全面的に及ぶ」と答弁した。

このような所に地方自治法上の境界を引くのは前例がないため、自治省も苦慮。しかし境界を決

めなければ、トンネルを利用する国鉄が自治体に納める納付金の配分割合も決まらず、「青森県や北海道の意見も聴き、供用開始までには決定したい」(同省行政局振興課)という。

しかし、供用開始前でも工事中のトンネル内で事件、事故が起きる可能性はあるため、警察庁は青森県警、北海道警と3年前から管轄境界をどこに引くか協議。「トンネルの中間点とすべきだ」「津軽海峡の真ん中がいい」などの案も出たが、これまで本州側、北海道側でトンネルを掘った所までを管轄区域としてきた経緯もあり、貫通地点を境界とすることで落着いた。

貫通点は、本州側の入り口から23.9kmの地点で、海底部分の中心点より1.3km本州寄り。関根謙一・警察庁官房企画課長は「警察としての適正な業務を行うための暫定境界で、他を拘束するものではない。正式な県境が決まり次第、これに従う」と話している。

(「世界日報」昭和60年3月8日より)