

■このシリーズの2016年12月号までは協会誌をご覧ください。

木造橋梁の建設とその改築：その2 (ブルネルによるブリストル周辺の木造橋梁)

国士館大学 名誉教授

岡田 勝也
OKADA Katsuya

1. まえがき

鉄道初期の木造橋梁の建設とその改築シリーズ⁶⁸～⁷⁴の“その2”⁶⁹では、木造橋梁を系統的に多用したブルネル初期の時代におけるブリストル周辺の木造橋梁(1840年代)について紹介したい。

なお、このシリーズに関連する都市と構造物の位置を図-1に示した。

2. グレート・ウェスタン鉄道 (Great Western Railway)

(1) グレート・ウェスタン鉄道の開業

ロンドン(London)とブリストル(Bristol)間の延長190.3km(118 1/4mi)を結ぶ都市間鉄道のグレート・ウェスタン鉄道会社は、ブルネル(I. K. Brunel)の肝煎りによって、1833年5月に設立された。1838年パディントン(Paddington)とメイデンヘッド(M Maidenhead)間が、1840年にはバース(Bath)とブリストル間が開通した。全線が開通したのは1841年6月30日であった⁷⁾²⁵⁾。

(2) グレート・ウェスタン鉄道の木造橋梁の建設

a) サニング(Sonning)の跨線橋

① サニングの木造跨線橋の建設

グレート・ウェスタン鉄道のロンドン方における木造橋梁はレイディング(Reading)の東にあるサニング切土に建設された跨線橋である。1882年の陸地測量部地図²⁶⁾にはサニング切土には合計4つの跨線橋が掲載されているが、ボーンはこれらの一つの跨線橋を描いている²⁷⁾。この跨線橋の主要な部分のみをスケッチしたのが図-1である。この絵から判るように、線路は右に大きくカーブした所に木製の跨線橋とその奥に3径間レンガアーチ橋(バタヒル・ブリッジ(Buttshill Bridge))があることから、ダフィールド・ブリッジ(Daffield Bridge)であると考えられる。

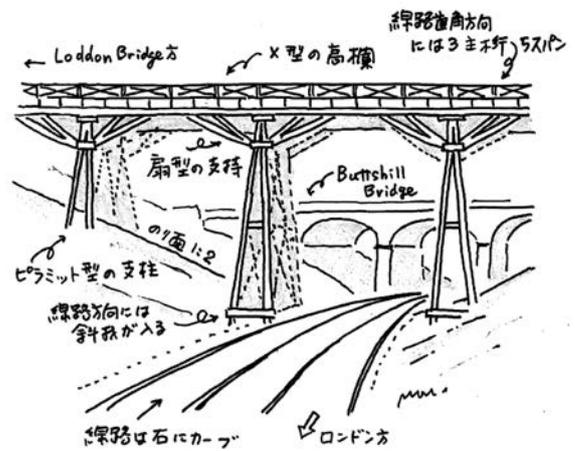


図-1 サニング跨線橋(ボーンの版画の一部をスケッチ)

この木造跨線橋は、ブルネルが後にコーンウォールで建設する扇型高架橋(CLB2やCLB3)の原型(構造形式については“その3”⁷⁰で述べる)になった。上部工は、道路方向に並ぶ3主桁と、これらの主桁の上に敷設された厚板(planking)から構成される。この上部工は、道路面から約3.6m(12ft)下にある橋脚天端を起点とする斜材を介して、木造構脚(trestle)によって支持された。

この橋梁は1893年の複線化工事によって取り壊された。

② サニング切土の崩壊

上述の跨線橋があるサニング切土はトワイフォード(Twyford)とレイディング間のほぼ中央にあり、延長約2km、最大深さ18m(60ft)の切土である。切土勾配は緩く1:2、施工基面は12.2m(40ft)であるから、左右の切土肩部の間の幅は98.0m(280ft)である。

切土の掘削はショベルとピックによる人力によって行われ、最盛期には1,220人と196頭の馬が同時に投入された。掘削土量は540,000m³(700,000yd³)に達した²⁸⁾。

1841年12月24日、クリスマス・イブの夜、この切土は円弧滑り崩壊を起こした。そのときに作成されたサニング切土の地質横断面図²⁸⁾は、より詳しい地質情報を伝えている。この断面図を描くと図-2のようにな

る。これによれば、施工基面は黒色粘土層であるが、切土部は上に行くに従って、所々に水を含む粘土層、ローム質砂を含むレンガ土、粘土層、そして表層の砂礫層となっているが、切土延長の半分以上には掘削土砂がその上に土捨てされていた。

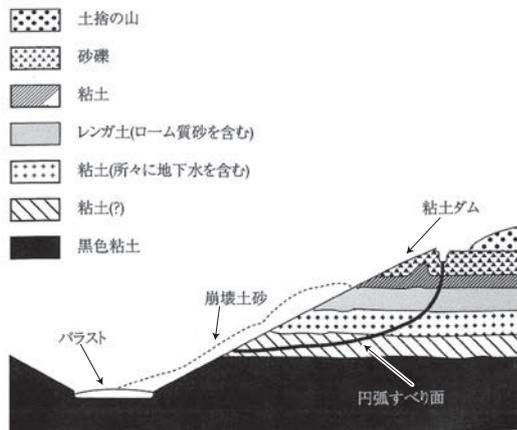


図-2 サニング切土の地質断面図(クーパーの図²⁸⁾に加筆)

図-2に示すように、上層の粘土層はダムのように上に突き出した状態のなかで、その表層に砂礫が堆積した。湿潤な天候が続いたあと、この粘土ダムの背面に閉じ込められていた水がこのダムを破って、下部のレンガ土に達し、さらに水を含んだ粘土層まで至り、黒色粘土の上面のロンドン粘土層の中で円弧滑り崩壊を起こした²⁸⁾ものである。

崩壊現場を調査したスミス(Lieu. Col. Sir Frederic Smith)は、“線路両側の切土の施工状態は非常に良好であり、湿潤な天気の後にもかかわらず、斜面状態は思ったよりも良い”と述べている。円弧滑りを起こした勾配1:2の切土の鉛直高さは17.7m(58ft)で、崩壊長さは27m(30yd)である。切土の外側には、高さ3.0m~4.9m(10ft~16ft)、幅15m~24m(50ft~80ft)にわたり大量の掘削土を土捨てしたが、このことがこの崩壊の主原因とはならないとも付け加えている³¹⁾。

ダムアップさせた粘土層まで排水工が施工された結果、切土面はやがて乾燥状態になった²⁸⁾。

(b) バース(Bath)のエイヴオン橋梁(Avon Bridge)

グレート・ウェスタン鉄道のパリステル方では大規模な木造橋梁が建設された。その一つが、バースのエイヴオン川に架かる橋梁である。

ブルネルは鍛鉄製の橋梁の架設を意図していたが、材料調達に時間が要することなどから、積層木造アーチ橋を架設することを決定した。スパンは河川直角方向で24.4m(80ft)ではあったが、斜角の河川横断のために24.4m(80ft)スパンが2連必要であった。アーチのライズは4.6m(15ft)で、リブは6組である。ボン

27)はリブの間隔は1.5m(5ft)と述べているが、ルイス(Brian Lewis)¹⁶⁾は外側のリブとその隣のリブの間隔は2.7m(9ft)、内側のリブとリブとの間隔は2.3m(7ft6in)であると述べている。したがって橋梁の幅は12.7m(2.7×2+2.3×3)となるが、これは橋梁の東端がバース駅の4線区間になるからである。

リブは石造の中央橋脚と橋台の上を支点とし、それぞれのリブは厚さ15.2cm(6in)のバルティック(Baltic)材、5層をボルトと帯金で止めたものである。各リブの端部は鋳鉄のソケットに埋め込まれ、凸状の石造支承を介して支持される。橋脚部の支点では2つのリブが一体となっている。

外側のアーチ・リブのスパンデル(三角小間: spandrel)は鋳鉄製の縦縞模様の装飾が施され、欄干(parapet)を支持する構造となっている。一方、内側のリブのスパンデルはプラット・トラス構造となっており、リブの支点の直上部で互いにタイ・バーで連結された。路盤の梁材や板材は外側リブに設置した木製コーニス(cornice)によって隠された。欄干はX型パターンである。橋台の小塔(turret)は平凡な形であり、西側橋台には曳舟道として鉄製の通路が設置された。

この木造橋梁は、1875~1878年のバース駅の改良工事に伴って取り替えられた(写真-1)。



写真-1 バース・エイヴオン橋梁。右はバース駅につながっている。橋脚は1線につき2本の円柱橋脚である。左に見える曳舟道は開業当初と変わらない。

(c) フィーダー運河(Feeder Canal)橋梁

① ブリステル近郊のフローティング・バーバー運河(Floating Harbour Canal)とエイヴオン(Avon)川に架かる橋梁

ブリステルのテンプル・メード駅への進入は、フローティング・バーバー(Floating Harbour)川とフィーダー運河の河川交通の障害にならないことが条件であった。これらの運河と河川を横断するためには、3

つの橋梁が必要であった。すなわち、エイヴォン橋梁、フローティング・ハーバー橋梁とフィーダー運河橋梁であるが、これらについては“イギリスにおける初期の鉄道構造物の歴史を辿る”シリーズの⑧で紹介した通りである。

これらの一つであるエイヴォン川を横断するエイヴォン橋梁は、河川航行には障害がないので、左右にサイド・アーチを有する中央スパン30.5m(100ft)のゴシック様式のアーチ橋(全長98.8m(108yd))が建設され、1839年に完成した。

また、フローティング・ハーバー橋梁は、運河航行の船舶のために十分な空頭の確保を約束させられたが、橋梁前後が比較的高い高架橋であるために、わずかに斜角した2スパンの石造アーチが建設された。スパンは17.1m(56ft)(直角方向では16.5m(54ft))で、全長は36.0m(118.15ft)である。パーペンデュクラー(Perpendicular; 後期ゴシック)様式のこの橋梁は1840年に完成した。

② フィーダー運河橋梁の構造

ブリストルに到る直前の3つの橋梁のうち、もう一つは、フィーダー運河を斜角で横断する橋梁である。

フィーダー運河橋梁の当初の設計は、2スパンの斜角石造アーチ橋であった。運河との空頭が8.2m(27ft)もある¹⁶⁾にもかかわらず、ケニット・アンド・エイヴォン運河(Kennet & Avon Canal)を通る船舶業者からの反対を受け、プルネルは石造アーチ橋を諦めた。

彼は鉄製橋梁にするか木造橋梁にするか熟慮したが、結局、フィーダー運河を木製橋梁によって、河川に対して30°の角度で横断することに決定した¹⁶⁾²⁵⁾。

その概念図は、シリーズ⑧の図-3に示したが、まず河川に直角にスパン約18mの木製トラス6本を渡す。6本のトラスは約3.2m間隔に並べたので、それら両端の距離(河川方向)は約16mである。トラスの全高は



写真-2 フィーダー運河橋梁。左がブリストル方

1.83m(6ft)、部材は30.5cm(12in)角断面である。なお、斜角方向のスパンは14.9m(48ft9in)である。橋梁全体としては、線路直角方向の橋梁幅は約8.6mであり、線路方向の橋梁長さは約29mである。

南側橋台は、曳船道の関係から幅4.9m(16ft)のボックス形状のアーチ構造で、インバートを有する。橋台の根入れ長さは3.5m(11ft6in)である。

この木製橋梁は1879~1880年に鉄製の曲弦トラスに架け替えられ¹⁶⁾³²⁾、さらに、フィーダー・ロード(Feeder Road)の道路拡張に伴って、プレートガーダー(写真-2)に架け替えられた³³⁾。

3. ブリストル・アンド・グロスタァ鉄道(Bristol & Gloucester Railway)とチェルトナム・アンド・グレート・ウェスターン・ユニオン鉄道(Cheltenham & Great Western Union Railway)

(1) ブリストル・アンド・グロスタァ鉄道の先駆者

a) ドラムウェイ(Dramway)の建設

ブリストルは産業革命時には重要な港としてその地位を確立していた。この地方の鉄道の先鞭を切ったのは、1832年から1835年にかけて開業した2つの馬牽引鉄道:エイヴォン・アンド・グロスタァシャ鉄道(Avon & Gloucestershire Railway)とブリストル・アンド・グロスタァシャ鉄道(Bristol & Gloucestershire Railway)であった。これらの鉄道は“ドラムウェイ(Dramway)”と呼ばれている³⁴⁾。そのルートの概念図を図-3に示した。これらの鉄道の主目的は、グロスタァ南部の炭鉱地帯からの石炭輸送などであった。

b) ブリストル・アンド・グロスタァ鉄道(馬車鉄道)の建設

タウンSEND(W.H.Townsend)の測量による延長約14.4km(9mi)のこの鉄道は、ブリストルのフローティング・ハーバーのクックオールズ・ヒル(Cuckold's Hill)(後のエイボン・ストリート(Avon Street))からコールピット・ヒース(Coalpit Heath)のオーチャード・ピル(Orchard Pil)に至るものである。コールピット・ヒースの石炭や石材を運搬する目的のこの鉄道は、1828年6月19日に認可を受けた。マンゴッツフィールド(Mangotsfield)ではエイヴォン・アンド・グロスタァシャ鉄道と連絡する。

マンゴッツフィールドからコールピット・ヒースまでの北区間は1832年7月に開業したが、土工だけは複線に変更した(軌道は単線)ために完成は遅れ、全線の開業は1835年8月6日であった³⁷⁾。

石炭を主とした貨物輸送という面からは、線路勾配

は非常に良かった。コールピット・ヒースからショート・ウッド(Shortwood)までは1.9%(1/528)の上り勾配であるが、延長157m(515yd)、標高53.3m(175m)のステイプル・ヒル(Staple Hill)トンネルのレベル区間を過ぎると、ブリストルのエイヴォン川までは約14%(1/71)の下り勾配が続く。

軌間は1.422m(4ft8in)で、外側のエッジまでの距離は1,540m(5ft1in)、可鍛錬鉄レールは重量17.4kg/m(35pound/yd)、長さ4.6m(15ft)の魚腹タイプで、鉄製チェアによって石のブロック(枕木)の上に設置された。

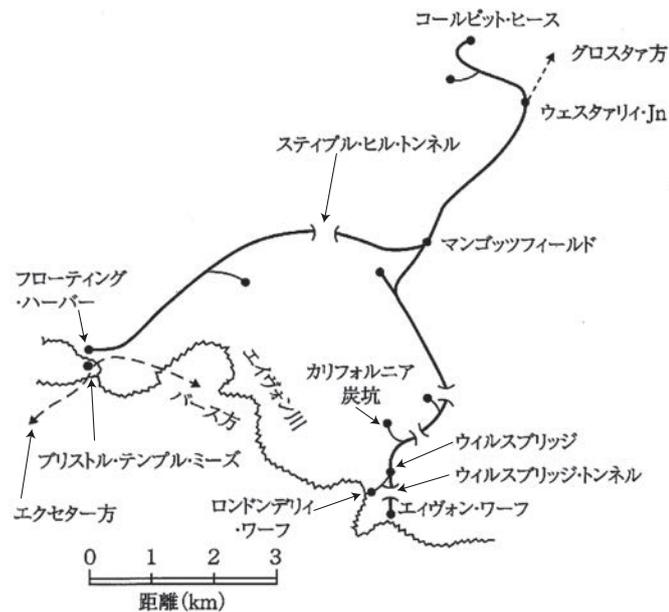


図-3 エイヴォン・アンド・グロスタア鉄道とブリストル・アンド・グロスタア鉄道概略路線図

c) エイヴォン・アンド・グロスタア鉄道建設
 コットレル(H.F.Cotterell)の測量によるこの鉄道は、ビットン(Bitton)の標高6.7m(22ft)のバックス(Backs)から標高60.4m(198ft)のマンゴッツフィールドに至る延長8.0km(5mi)、最急勾配は13.2%(1/76)の鉄道である。1831年の厳しい冬には盛土や切土が滑り破壊を起こし、軌道の敷設にも影響を受けたが、1835年5月31日に全線が開業した³⁷⁾。

エイヴォン川では、ブリストル行きの船のためにウイルスブリッジ(Wilsbridge)からロンドンデリー・ワーフ(Londonderry Wharf)に至る軌道を、もう一つはバース行きの船のためにタウン・ワーフ(Town Wharf)に至る軌道も建設した。後者のルートでは北坑口に高い垂直の岩盤切土を連ねるウイルスブリッジ・トンネルが建設された。レールの長さは2.7m(9ft)、ゲージは1,435mm(4ft8.5in)で、石炭4ton積みの4輪の木造貨車は直径70cm(30in)の鉄製フランジ付き車輪であった³⁴⁾。

1885年のケニット&エイヴォン運河による報告書に

よれば、この鉄道には3本のトンネルが掘削された。それらは、延長131m(6.5chain)のウイルスブリッジ・トンネル、延長141m(7chain)のオールランド・トンネル(Oldland Tunnel)と延長66m(72yd)のカウホーン・ヒル(Cowhorn Hill)近くトンネルであるが、レール・レベルからアーチ天端までの高さは小さく、それぞれ、2.9m(9ft8in)、2.8m(9ft3in)と2.5m(8ft2in)に過ぎなかった³⁷⁾。

(2) ブリストル・アンド・グロスタア鉄道とチェルトナム・アンド・グレート・ウェスターン・ユニオン鉄道の建設

1839年、ブリストル・アンド・グロスタア鉄道は馬牽引であったブリストル・アンド・グロスタア鉄道を吸収するとともに、ウエスタアライ(Weasterleigh)からチェルトナム・アンド・グレート・ウェスターンユニオン鉄道のスタンディッシュ・ジャンクション(Standish Junction)まで延伸することなどを認可された。

1841年から工事が始まった。1844年7月6日に全線の開業を迎えた。41の跨線橋、32の橋梁が建設されたが、そのうち15橋は木造であった。

馬牽引のブリストル・アンド・グロスタア鉄道が建設した延長471m(515yd)のステイプル・ヒル・トンネルは、建設当初は幅3.7m(12ft)であったが、北側に拡幅され7.9m(28ft)となった。地質はペナント砂岩層(上部挟炭層とも呼ばれる)と挟炭層(いずれも石炭紀に属する)である³⁸⁾。

レール・レベルからアーチ天端までの高さは7.9m(28ft)、側壁は厚さ60cm(2ft)のペナント・ストーン(Pennant Stone)で、アーチは一般には5層巻きである。しかし、延長38m(44yd)間は地質が悪かったので、スパン7.9m(28ft)に対し45.7cm(1.5ft)の正矢を有するレンガのインバート(厚さ46cm(18in))を施工した。トンネルの拡幅には既設の2基の立坑が使用された。

一方、チェルトナム・アンド・グレート・ウェスターン・ユニオン鉄道は1836年に認可を得て、スウィンドン(Swindon)からケンプル(Kemble)までが1841年に開業した。しかし、ケンプルとグロスタア間は4年遅れて1845年に開業した。

なお、ブリストル・アンド・グロスタア鉄道は、建設が完了したもののまだ開業していなかったチェルトナム・アンド・グレート・ウェスターン・ユニオン鉄道のスタンディッシュ・ジャンクション(Standish Junction)とグロスタア間の線路を走行して、バーミンガム・アンド・グロスタア鉄道(Birmingham & Gloucester Railway)のグロスタア駅の北側に建設した

自社の仮駅に到った¹⁶⁾。

(3) ブリストル・アンド・グロスタァ鉄道の木造橋梁

この鉄道の主な木造橋梁は、1842年から44年にかけて建設されたストーンハウス(Stonehouse)高架橋とストラウド・カナル(Stroud Canal)橋梁である。

a) ビード・ミル(Beard's Mill)高架橋

ストーンハウス高架は、この近くにある製粉所の名前をとってビード・ミル(Beard's Mill)高架橋とも言われた。橋梁は、全長165m(540ft)で、スパン15.2m(50ft)10連とその両端にスパン6.1m(20ft)のそれぞれ1連から構成される。側径間の2連はその後埋め戻され盛土に変更された。橋梁の幅は8.3m(27ft3in)、高さは13.1m(43ft)である。橋梁の形式はクラス3のQDTで、ブルネルが採用した最初のクラスである。トラスは、地盤に打ち込まれた木杭の頂部の鋳鉄シューを支点として支持され、トラス部材は鋳鉄ボルトと帯鉄で緊結された。この橋梁は1884年に石造橋脚と鉄製単純桁橋に置き換えられた(写真-3)。



写真-3 ビード・ミル高架橋。左はブリストル方。名前の織物工場は向こう側左にあり、現在もその家屋は存在している。

b) ストラウド・カナル(Stroud Canal)高架橋

ストラウド・カナル高架橋は、前者の橋梁から約500m北に位置する橋梁で、スパン9.1m(30ft)の斜角桁(直角方向では8.4m(27ft6in))で、形式は木造橋梁として最も基本的なクラス1のCLBであった。この橋梁は1892~93年に、そして最終的には1953年に置き換えられた¹⁶⁾。

(4) チェルトナム・アンド・グレート・ウェスタン・ユニオン鉄道の木造橋梁の建設

a) ストルード(Stroud)渓谷における木造橋梁と改築

この鉄道の木造橋梁は、サパットン(Sapperton)トンネルの西坑口から続くストルード渓谷にあり、1845年に建設された。セント・メアリィ(St. Mary)高架橋とボーン(Bourne)高架橋が運河を渡るスパンは、それぞれ、22.6m(74ft)と20.1m(66ft)のクラス4:KTTの

タイプで建設された。それ以外の高架橋のスパンは9.1~15.5m(30~51ft)で、クラス3のQDTであった。これらの木造橋梁は、1859~1892年にかけて順次架け替えられた。

b) ケイペルズ・アンド・カナル高架橋(Capel's & Canal Viaduct)

ケイペルズ・アンド・カナル高架橋のケイペルと言う名前はケイペル(Jhon Capel)が運営するストルード織物工場(Cloth Mill)に由来するが、この高架橋の建設によって消滅した。東端部はQDTタイプのスパン9.1m(30ft)18連からなる。さらに、36度の斜角のスパン12.2m(40ft)に続いて、テムズ・アンド・セヴァーン運河(Thames & Severn Canal)を同じ斜角でスパン15.5m(30ft)で横断する。そして西端部ではスパン11.6m(38ft)一連とスパン8.5m(28ft)の2連から構成される¹⁶⁾。

このように、複雑なスパン構成を有する木製橋梁は1892年に鋳鉄ガーダーとレンガ・アーチ橋の複合橋梁として再建された(写真-4)。全長は231m(253yd)である。かつての運河ルートにはA419道路(Dr. ニュートンズ・ウェイ:Dr. Newton's Way)が走っている。



写真-4 ケイペルズ・アンド・カナル高架橋のフルーム川横断箇所。川に近接した染料工場として使用されていた右スパンには窓が見える。

4. あとがき

鉄道初期に建設された木造橋梁とその改築シリーズの第2回として、ブルネルが建設したブリストル周辺の橋梁を取り上げた。今回は、イギリス南西部のデボンシアとコーンフォールの橋梁を紹介する。なお、本文中に引用した文献の詳細は紙面の都合上割愛し、下記の引用文献の文末に示した。

<引用文献>

岡田：初期の鉄道構造物の建設と地盤工学の芽生え：その16、木造橋梁の建設と地盤工学の芽生え、国土館大学理工学研究所報告、No.25、2013。