

今福新線 トンネル断面の謎に迫る

河野 靖彦

1. はじめに

今福線の研究では、これまで旧線の研究に重きを置いてきたが、新線トンネルで誰もが避けてきた事柄があった。それは「新線トンネルに二つの謎が存在する」ということである。

新線のトンネルは全部で3本。佐野と今福を結ぶ下長屋トンネル ($L=1,633$ m) と、丸原地区の2本（丸原トンネル： $L=120$ m）（御神本トンネル： $L=80$ m）では異なった形式となっているし、下長屋トンネル自体、今福側と佐野側で異なった断面となっている。

今回の研究報告では、その『謎』の解明に迫りたいと考えている。

2. 新線トンネルに二つの『謎』

(1) 新線のトンネルに1号型と2号型、二つのタイプが存在する

今福線のトンネル断面は、新旧線共に、国鉄の1930（昭和5）年7月3日付・建工第585号に規定された断面である。1号型は電化区間もしくは将来電化が予想される区間、2号型は一般区間に用いられる形式で、通常は非電化区間に用いられている。

旧線は、全てが2号型で建設されているのに対し、新線には1号型、2号型の両タイプが存在している。新線で1号型が建設されているのは、丸原地区の2本のトンネルであり、坑口に取付けられた銘板により、その形式を知ることができる。



写真1 丸原トンネル (1号型)



写真2 下長屋トンネル (2号型)

今福線の線路種別は丙線で、もともと非電化区間で計画されているため、丸原地区のトンネルだけ電化型の断面で建設する必要はない。何か特別な理由なしに、違うタイプをあえて建設することは考えにくい。1号型トンネル

を建設したのは、電化を予定したものではなく、他に理由があったはずである。

(2) 下長屋トンネルの断面が今福側と佐野側で異なっている

全長 1633m の下長屋トンネルは、非電化型の 2 号型断面を採用している。平成 25 年にトンネル内部を調査した時、今福側と佐野側で断面が異なっていることを発見した。断面変化点はほぼトンネル中央部で、今福側は通常の馬蹄形断面になっているのに対し、佐野側は側壁部分を垂直にした断面が用いられている。

通常この変形的な断面は、保守点検用のスペース確保のために用いられる断面であるという。ただし、途中で断面が変化するのにはそれなりの理由があるのでないだろうか。



写真3 今福側断面（馬蹄形）



写真4 佐野側断面（側壁が垂直）

3. 新線トンネルの正規な断面を探る

(1) トンネル断面の変遷

単線用トンネル断面の基準は、「1898（明治 31）年 8 月 10 日付・鉄作乙第 4375 号（長官達）」で隧道定規として制定したものが始まりで、信越本線横川～軽井沢間の碓井峠トンネル群の断面を正式採用したものである。

日本で最初の鉄道トンネルは、1874（明治 7）年に開業した東海道本線大阪～神戸間の石屋川、住吉川、芦屋川の 3 本の開削トンネルで、イギリス人技師の指導監督の下に造られたものである。当時はトンネル断面の明確な基準がなく、石屋川と住吉川の断面は高さ 3749mm (12.3ft)、幅は 4572mm (15ft) で円形に近い断面であった。

1880（明治 13）年、東海道本線大津～京都間に、初めて日本人技術者により建設された逢坂山トンネルが完成する。断面は、高さ 4267mm (14ft)、幅 4267mm (14ft) の馬蹄形断面であった。この断面は、その後の東海道本線の

トンネルでも継承されるが、1893（明治26）年に完成した碓氷峠トンネル群で、高さ5209mm（17.1ft）幅4572mm（15ft）に拡大され、その後この断面が初めての基準として制定された。

表1 単線トンネル断面基準の変遷

和暦	西暦	形式	断面(単位:m)		特徴
			高さ	幅	
明治31	1898	鉄作乙第4375号型	5209	4572 (15ft)	信越線碓氷峠トンネル群の断面を正式採用
大正5	1916	甲型	5209	4572 (15ft)	鉄作乙第4375号型を踏襲・支線用
大正5	1916	乙型	6020	4877 (16ft)	蒸気機関車のばい煙対策・幹線用
大正11	1922	中間型	5512	4572 (15ft)	甲型を用いる線区で延長800m以上、将来電化予定
大正14	1925	新中間型	5550	4720	中間型の欠点を補完
昭和5	1930	1号型	5100	4760	電化区間又は将来電化予定区間、断面表示変更
昭和5	1930	2号型	4630	4560	一般線区・直線用、曲線用に区分
昭和7	1932	3号型	4820	4820	簡易線の半径160m以上200m未満、適用例は極少
昭和30年代		特1号型	5350	4760	交流電化用、1号型の高さを変更

1916（大正5）年4月25日付・達第422号で、甲乙2種類の断面が制定される。甲型は「鉄作乙第4375型」を同サイズで踏襲したもので、北海道・四国および軽便線用など支線用として採用された。これに対し乙型は、蒸気機関車の煤煙対策を目的として、高さ6020mm（19.8ft）幅4877mm（16ft）に拡幅された断面で、本州・九州の幹線区を中心として採用された。

明治時代後期には、鉄道発足当時に比べて機関車が大型化し、連結する車両も増大している。山岳地帯に造られるトンネルは急勾配かつ長大となり、煤煙対策が問題化していたのである。1899（明治31）年5月に開通した奥羽本線板谷峠トンネル群（19か所、最長1,629m、最急勾配33‰）では、1909（明治42）年に煤煙を起因とした脱線転覆事故（4名死亡、30人負傷）が発生、それ以外のトンネルでも窒息事故が多数発生しており、トンネル断面改正の起因になったと考えられる。

その後1929（昭和4）年の建設規定改正に伴い、1930（昭和5）年7月3日付・建工第585号で、単線トンネル断面は1号型2号型の2種類に改正される。1号型は電化区間もしくは将来電化が予想される線区（高さ5100mm、幅4760mm）、2号型はそれ以外の一般線区（高さ4630mm、幅4560mm）で、2号型はさらに直線用、曲線用に区分されている。なお、この基準から断面の

表示方法が変わり、施工基面 (F. L.) ではなくレール上面 (R. L.) が基準高に変更されている。

(2) 在来線現地調査より考察する

在来線トンネルの断面形状がどうなっているのか、現地調査を行った。下表は、山陰本線の米子～江津間について調査を行った結果である。

表 2 山陰本線トンネル調査表（米子～江津間）

駅区間		本数	代表するトンネル名	開通年月日	改良年	適用基準(開通時)		適用基準(現在)		備考
起点側	終点側			和暦	和暦(西暦)	基準名	和暦	基準名	和暦	
米子	揖屋	4	島田トンネル	明治41年11月8日	昭和57(1982)	鉄作乙第4375号型	明治31年8月	複線型断面	大正6年6月	一部複線
玉造温泉	来待	1	向鏡山トンネル					1号型		上り線
玉造温泉	来待	6	柳井トンネル	明治42年11月7日	昭和45(1970)	鉄作乙第4375号型	明治31年8月	1号型		昭和5年7月
玉造温泉	来待	1	来待トンネル					複線型断面	大正6年6月	下り線
小田	波根	8	田儀トンネル	大正4年7月11日		鉄作乙第4375号型	明治31年8月	乙型	大正5年4月	
静間	仁万	2	宅野トンネル	大正6年5月15日		甲型、乙型	大正5年4月	乙型	大正5年4月	
仁万	浅利	8	釜野トンネル	大正7年11月25日		甲型、乙型	大正5年4月	乙型	大正5年4月	
浅利	江津	2	第一浅利トンネル	大正7年11月25日		甲型、乙型	大正5年4月	乙型	大正5年4月	

※大田市以西のトンネル形式は推定



写真 5 向鏡山トンネル・上り線 (1号型)



写真 6 来待トンネル (複線型)

明治期に開通した米子～出雲今市（現出雲市）間においては、当初「鉄作乙第4375号」型のトンネルが建設されていたと考えられるが、玉造温泉～来待間の複線化（1970年）や、伯耆大山～知井宮間の電化（1982年）に伴う一部複線化で改良され、1号型トンネルや複線トンネルに成り代わっている。

出雲市以西のトンネルは開通当初からのもので、一部コンクリートで補修された箇所はあるが、煉瓦積みや石積みの美しい意匠を保っている。

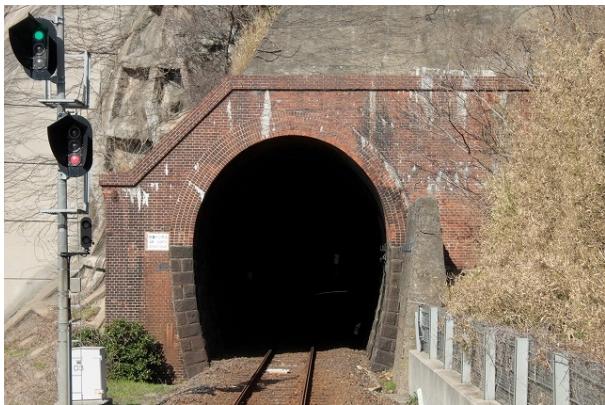


写真7 田儀トンネル（田儀～波根）



写真8 釜野トンネル（温泉津～石見福光）

小田～波根間には8つのトンネルがある、その内、田儀トンネルや深原トンネルには銘板があり、「乙号馬蹄型」、「乙号中間型」の形式が刻まれている。開通時期が断面制定時期の約1年前であるが、文献を調べた結果、一部地域では1911（明治44）年頃から採用された断面であるという。

この区間の『乙号』が、「鉄作乙第4375号」の『乙』なのか、「乙型」の『乙』なのか良く分からなかったが、鉄道辞典に「乙型」は「乙号型」、「甲型」は「甲号型」であると記載されていて、これらのトンネルが「乙型」であることを確認した。実際に、列車（キハ120形）がトンネルを通過する際の比較写真を見ても、左の田儀トンネルの方がアーチ部のクリアランスが明らかに大きく、天端高を大きくとった「乙型」であることが分かる。



写真9 田儀トンネル東側坑口



写真10 江津トンネル（旧三江線）

大田市以西のトンネルについては、推測の範囲でしかないが、田儀トンネルと同様にキハ120形が通過する際のクリアランスを目視した結果、同様の乙型断面ではないかと考えられる。つまり、山陰本線のトンネルは、乙型および1号型で、電化対応が可能なトンネルが造られていると言える。

山陰本線のトンネル形式から考察すると、路線毎に将来的な予測とビジョンがあって、トンネル形式が決定されている。米子～来待間のように、一旦非電化型のトンネルが造られてしまうと、電化に変更するためにはかなりの建設費や期間を要することになる。今福新線のように、同時期に異なるトンネル形式を採用するには、それなりの理由が必要ではないだろうか。

(3) 線路種別より考察する

「線路種別」とは、昭和4年の建設規定改正に伴い定められた路線の分類で、甲線、乙線、丙線、簡易線の4種類に分類されていて、いわば路線の重要性を示したものである。輸送量・運転速度・列車運転状況及び将来の情勢変化等をその目安としていて、情勢に変化があれば変更される。

中国地方の場合、昭和33年1月時点で以下のように分類されている。

表3 線路種別と電化の関係

線路種別	路線名	区間		トンネル形式	開通年月日	電化した年	備考
甲線	山陽本線	神戸	～	下関	明治34年5月27日	昭和39年7月25日	岩徳線は除く
	柳井線	岩国	～	櫛ヶ浜	明治30年9月25日	昭和39年7月25日	
乙線	宇野線	岡山	～	宇野	1号型	明治43年6月12日	昭和35年10月1日
	呉線	三原	～	海田市		昭和10年11月24日	昭和45年10月1日
	山口線	小郡	～	石見益田	乙型	大正12年4月1日	非電化
	山陰本線	京都	～	幡生	乙型・1号型	昭和8年2月24日	昭和57年7月1日
	大社線	出雲今市	～	大社	一	明治45年6月1日	非電化
丙線	伯備線	倉敷	～	伯耆大山		昭和3年10月25日	昭和57年7月1日
	芸備線	備中神代	～	広島		昭和11年10月10日	非電化
(簡易線)	可部線	横川	～	安芸飯室		昭和11年10月13日	昭和5年1月1日
	木次線	宍道	～	備後落合	2号型	昭和12年12月12日	非電化
	三江線	石見江津	～	浜原	2号型	昭和12年10月20日	非電化
	今福線	今福	～	下府	2号型		非電化

甲線は重要路線であり、基本的に電化されている。乙線もそれに次ぐ準幹線として位置付けられており、電化されている区間が多い。山口線は非電化ではあるがトンネル形式は乙型で、電化も可能な区間になっている。

丙線以下は地方線であり非電化の路線が多い。伯備線は、当時丙線という位置付けであったが、山陽から山陰を結ぶ陰陽連絡線として重要視されたため、昭和57年に山陰本線伯耆大山～知井宮間と共に電化されている。現在の評価であれば、一つ格上げされて乙線の扱いであってもおかしくない。

可部線の横川～可部間は、丙線（簡易線）でありながら電化されているが、国有化される以前の広島電気（後に広浜鉄道）時代に電化されたものである。延伸開業された可部～三段峡間は国鉄時代に建設された区間で、他の丙線（簡易線）と同様に非電化路線で開業している。すべての路線を調べたわけではな

いが、基本的にはトンネル形式も甲型もしくは2号型で建設されている。

今福新線は、橋梁の銘板より橋梁負担力がKS-14（KSは機関車車両荷重を示す）であり、丙線の規格に相当する。線路種別から判断すると、他の丙線と同様に非電化路線で、トンネル形式の基本形は2号型であると考えられる。

(4) 下長屋トンネル（2号型）より考察する

仮に、将来今福線を電化する予定だったとしよう。2号型のトンネルである下長屋トンネルを改築する場合、どのような不都合があるのだろうか。

トンネルの電化工事において、一般的に用いられる工法は「盤下げ」というもので、アーチ部分をそのままにして側壁部分を下げ断面を確保する工法である。2号型から1号型へ改築するためには、470mmの「盤下げ」が必要となる。

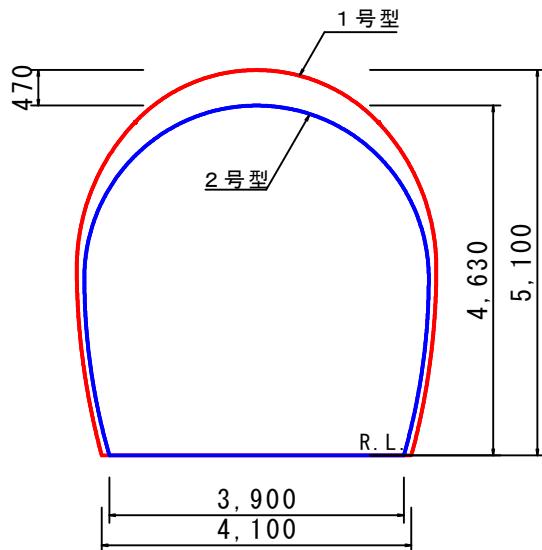


図1 トンネル断面図

下長屋トンネルでこの工法を採用した場合、直近の第1下府川橋梁の床版高も同時に下げる必要があり、物理的に不可能ではないか。「盤下げ」でなくアーチ部分を改築する方法もあるが、施工が困難なため採用例はごく少ないという。

単線の営業線で改築工事を行う場合、千鳥状に少しづつ壁体を解体しながら工事を進めることになる。1,633mのトンネルを改築するには、工期も工費もかかり、現実的な選択ではない。今福新線を将来的に電化するつもりであったならば、下長屋トンネルこそ1号型で建設する必要があったのではないかだろうか。

以上の考察より、今福新線のトンネル基本形は2号型であると予想する。従って、丸原地区のトンネルに1号型を採用したのは、他にしかるべき理由があつたのではないかと考えられる。

4. トンネル断面が違う理由

1号型と2号型の違いは何かというと、それは主に高さの違いである。電車にはパンタグラフ等の集電設備があるため、電化区間のトンネルは非電化区間に比べ、より高さのある断面が必要になる。図1に示すように、トンネルの高さは1号型の方が470mmほど高くなっている。この高さの違いに、何らかの理由があるかもしれないと仮説を立ててみた。

(1) 仮説1 レールより上面に理由あり（煤煙対策）

一般的に考え着くのは煤煙対策である。鉄道創成期より、蒸気機関が発する煤煙で、多くの人々が苦しめられてきた。

その蒸気機関車（SL）であるが、本州では1974（昭和49）年に全て廃止されている。新線建設時の昭和50年代には全国的に気動車に移行されており、その後トンネルでの煤煙対策はさほど必要とされていない。また、仮に丸原トンネル（L=120m）や御神本トンネル（L=80m）が煤煙対策としての1号型採用なら、勾配がきつく延長も長い、下長屋トンネル（L=1633m・最急勾配23‰）の方こそが煤煙対策が必要となるため、つじつまが合わない。つまり、今福新線の1号型採用理由は、煤煙対策ではないと言える。

(2) 仮説2 レールより下面に理由あり（道床）

レールより下面にあるのは、レール、枕木、道床である。道床とはいわゆるバラストのことで、枕木の受ける輪荷重を路盤に分布し、排水や軌道整正等を容易にするために敷かれる砂利や碎石、コンクリート等のことである。通常の道床には、砂利や碎石が用いられることが一般的で、今福線のような丙線の場合、枕木下面よりの厚さが120～150mmと定められている。

それ以外で、トンネルの高さに影響を与える何かがあるのではないかと、鉄道関係の文献を調べていると、1冊の本にたどり着いた。「鐵道」（平井喜久松 岩波書店 1949）という古書である。この中で示されている「補助道床」という構造を見た時、今福新線に関係しているのではと直感した。

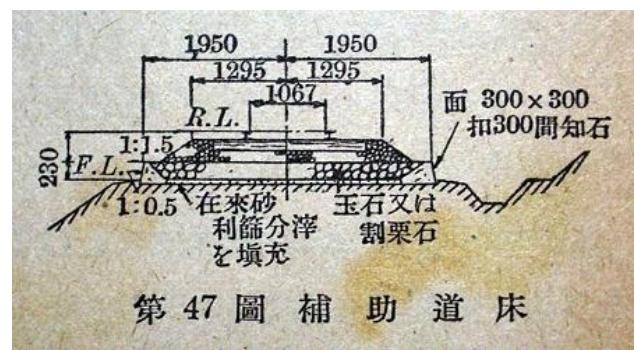


図2 補助道床

補助道床の説明には、「道床の排水のため、または厳寒地方において線路が凍上する事を防止するために普通道床の下に敷いた石炭殻または栗石等の層を補助道床（sub ballast）と言う。補助道床の厚さはその場所によって一定ではないが、普通 230～450mm である。」とある。

つまり、補助道床は普通道床の下に、排水や凍上防止を目的に設けられるもので、今福新線でも凍上防止を目的として補助道床を採用するため、通常より高さ方向に広い断面のトンネルが必要になり、1号型を採用した可能性がある。

5. 二つの謎に迫る

(1) トンネル形状の違い

今福線が非電化路線であるにも関わらず、トンネル形状を 1号型にして高さを確保しなければならない理由は、丸原地区の気象条件と地形的条件が関係していると思われる。写真 11 は、平成 30 年 1 月 27 日午前 8 時の浜田地区の道路状況を記録したものである。

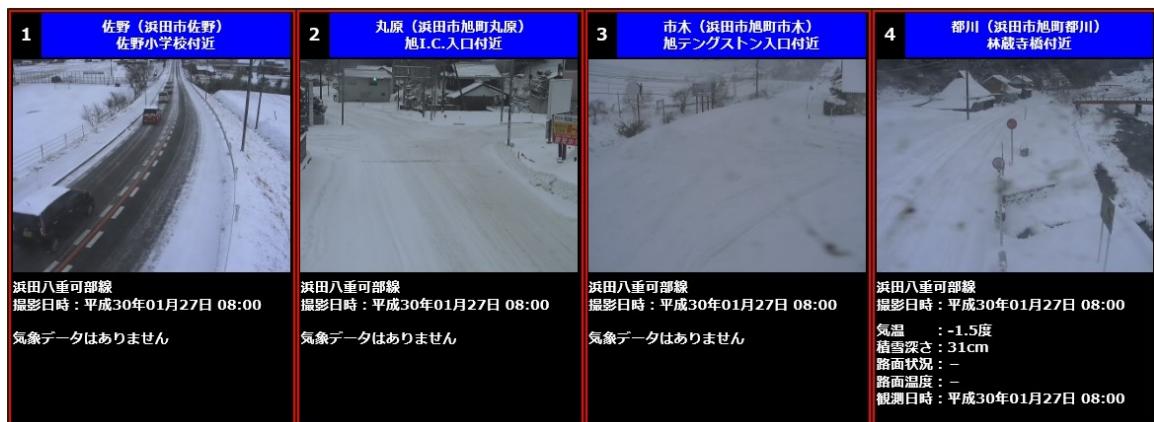


写真 11 島根県道路カメラ情報（抜粋）

丸原地区の構造物標高は約 260m、冬季はかなりの降雪があり気温も氷点下に達する。丸原地区の気象データは記録としては存在しないが、「島根県道路カメラ情報」及び「気象庁アメダス」のデータから推定すると、当日午前 8 時の気温はマイナス 3.5°C。近隣の道路は凍結して圧雪の状態にある。中国山地の尾根にあたり、しばしば凍結が予想されるこの地域では、冬季間の線路管理において、道床の凍上防止対策が必要であったのではと推測される。

地形的条件では、丸原地区のトンネルが北向きの尾根を貫通して建設され、より凍結しやすい環境下にあることが上げられる。広島側から御神本橋梁（延長 77m 高さ 5m）、御神本トンネル（長さ 80m）、寺廻橋梁（長さ 80m 高さ 10m）、白角橋梁（長さ 23m 高さ 10m）、丸原トンネル（長さ 120m）と構造物が連続し、さらにその先にも橋梁やトンネルが建設される予定であった。橋梁の床版は

地上から 10m 程の位置にあり、寒風により凍上しやすい橋梁上の道床には、補助道床を設置するなどの凍上対策が必要であったと推測される。

補助道床の敷設高は 230~450mm で、トンネルと橋梁は近接しているため、橋梁部に補助道床を敷設した場合、トンネルの道床高も変えなければならなくなる。そのため、トンネル上部に余裕高が必要になり、余裕高を確保出来る 1 号型トンネルを建設するに至ったのではないか。



図 3 丸原地区マップ

では、なぜ今福地区の下長屋トンネルは 2 号型なのか。これも想像の域でしかないが、答えは丸原地区と今福地区の地形的条件の違いであると思われる。

両地区が決定的に違うのは坑口付近の状況である。今福側は平坦な地形でほぼ土の路盤が続いているので、通常の道床高であったと考えられる。一方の佐野側坑口には下府川が交差しており、第 1 下府川橋梁（橋長 86m）で川を渡るため、丸原地区と同様に凍上対策として補助道床が必要であったのではないだろうか。



写真 12 今福側坑口付近



写真 13 佐野側坑口付近

つまり、今福駅から下長屋トンネルまでは通常の道床高を維持し、トンネル中間付近から補助道床を設け、佐野側坑口付近で補助道床の最低高 230mm を保持したと考えられる。もう一つの謎である下長屋トンネルの断面変化についても、道床高の変化が関係しているのではないかと推測される。

(2) 下長屋トンネルの二つの断面

下長屋トンネルは、二つの工事業者で施工されている。佐野側は森本組が担当し昭和 47 年 11 月着工で昭和 49 年 9 月竣工、今福側は鴻池組が担当し昭和 48 年 11 月着工で昭和 50 年 8 月に竣工している。元々は 2 本のトンネルで計画されていたものだが、なぜか 1 本のトンネルで完成している。それ自体も一つの謎なのだが、その謎解きは次年度以降に行うとして、佐野側の側壁がなぜ直壁になったのかを考えてみたい。

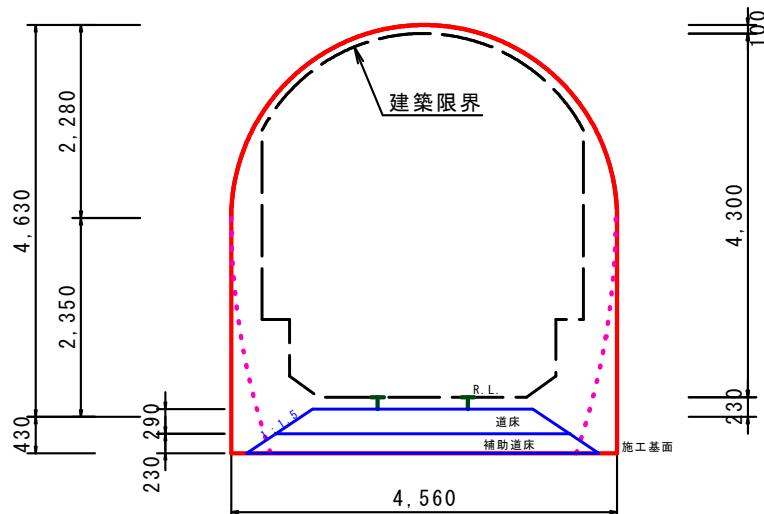


図 4 下長屋トンネル断面と建築限界

図 4 は、補助道床を採用した場合のトンネル断面と建築限界を示したものである。下長屋トンネルに補助道床を設けて道床高が 230mm 高くなった場合、馬蹄形断面では保守用通路の断面が狭くなり、保線作業にも支障をきたすようになるのではないだろうか。そこで側壁部分を直壁にし、作業用及び通路用スペースを少しでも広くとろうと考えたのではと想像する。図 4において、内側に幅員が狭くなる馬蹄形（破線）より、幾分でもスペースが広くなる直壁（実線）の方が作業性は良いように思える。

なお、2 号型に列車の建築限界を重ね合わせてみると、上部に 330mm ほどの余裕高がある。仮に補助道床を設けるとして、最低高の 230mm 程度であれば 2 号型でも設置が可能となる。下長屋トンネルの場合、佐野側坑口付近で建築限界ギリギリではあるが、全区間を通じた敷設ではないので、2 号型で良いと判断したのではないだろうか。

トンネル内部には、40m間隔で避難所が設けられている。長大トンネル内で、万一作業中に列車が接近し待避所にたどり着けない場合でも、直壁であれば線路脇に安全に退避できるのではないだろうか。



写真 14 断面変化部計測状況

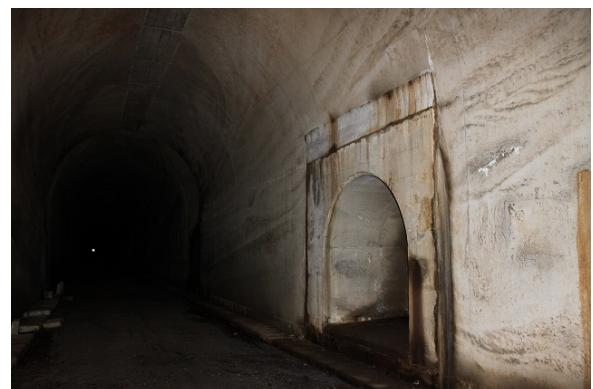


写真 15 直壁部の待避所

6. 現地計測

これまでの仮説を基に、現地の橋梁とトンネルを計測した。計測箇所は、トンネルが1号型の御神本トンネル、丸原トンネル、2号型の下長屋トンネルで、橋梁が丸原地区の御神本橋梁、寺廻橋梁、白角橋梁である。なお、佐野地区の第1及び第2下府川橋梁は前年度までに計測済であるので、その数値を採用した。その結果を図5及び図6に示す。

丸原地区では一番幅員の狭い御神本橋梁に、佐野地区では第1下府川橋梁の断面に、「図2 補助道床」で示された定規を当てはめてみた。それによると、御神本橋梁で250mm、第1下府川橋梁で230mmの補助道床が敷設できるという結果が得られたのである。寺廻橋梁と白角橋梁の幅員は、御神本橋梁よりは若干広いが同様に250mm、第2下府川橋梁は第1下府川橋梁と同じ幅員なので230mmの補助道床敷設が可能である。

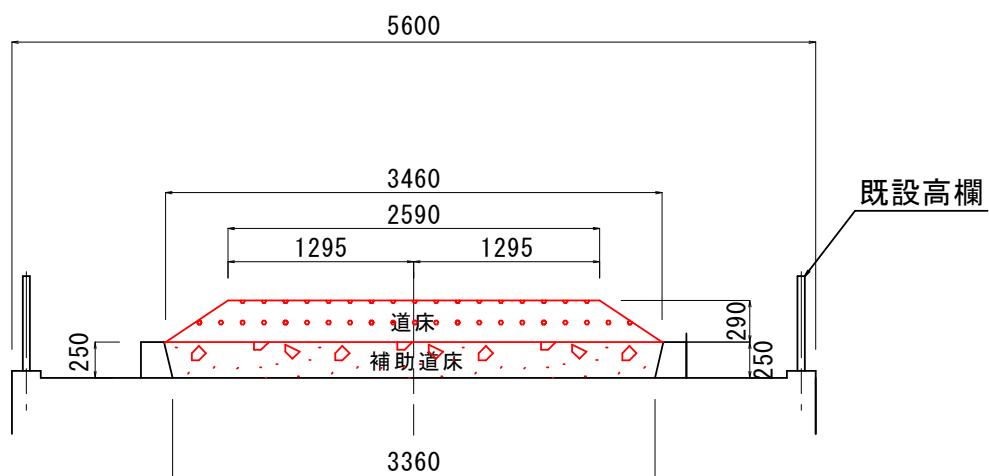


図 5 御神本橋梁断面図

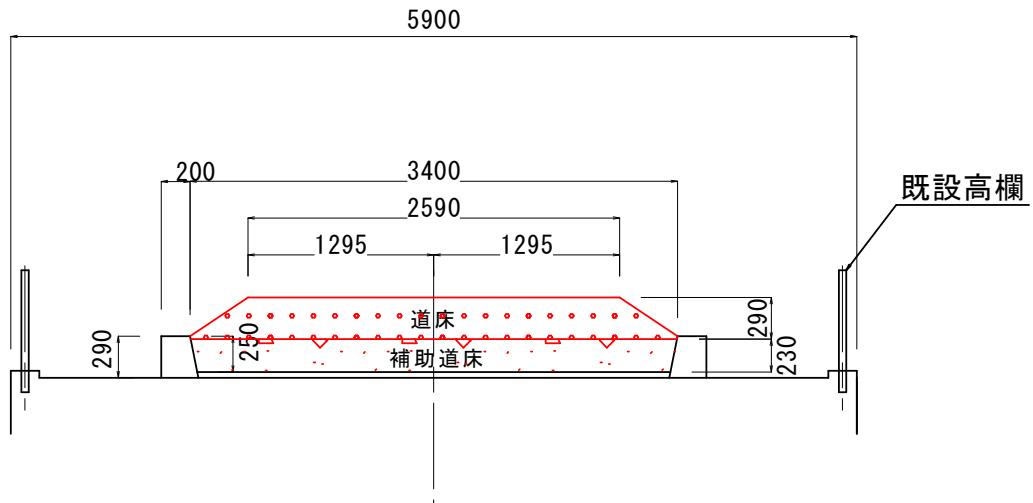


図 6 第一下府川橋梁断面図

補助道床 250mm を、丸原トンネルの断面に当てはめると、図7のようになる。2号型断面では建築限界と 80mm しかクリアランスが取れない状況であったが、1号型に変えた結果 550mm のクリアランスが取れる結果となった。補助道床の最高厚は 450mm であるので、ある程度の敷設厚変更には対応が可能となる。

以上の検証結果により、私見ではあるが二つの謎に対する解答が得られた。

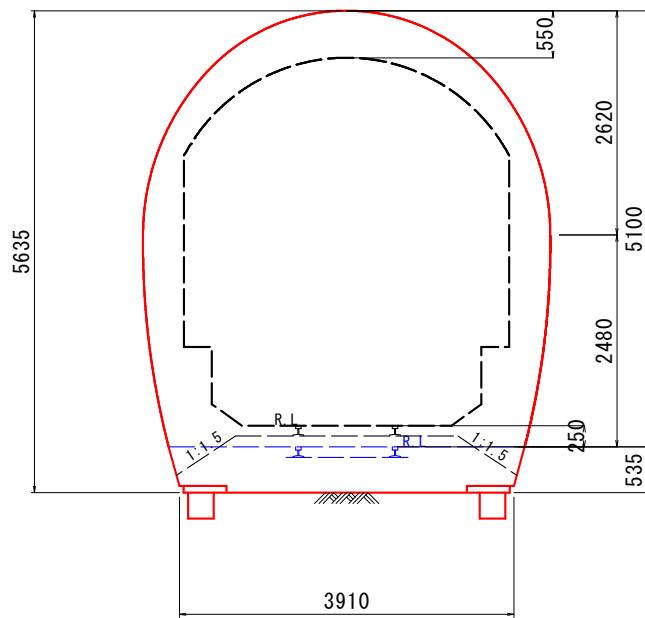


図 7 丸原トンネル断面図

一つ目の謎、「今福新線に 1号型トンネルを採用した理由」に対しては、「軌道凍上対策として補助道床を採用、その際断面不足を解消するため 1号型を採用したのではないか」。また二つ目の謎、「下長屋トンネルの断面が異なる理由」

については、「補助道床を敷設した場合、側壁が馬蹄形だと保守用通路の確保が困難なため、直壁にしたのではないか」と結論付けることにした。

7. 終わりに

今回の研究リポートの内容は、あくまで仮説であって謎を解明したわけではない。当時の事情をご存知の方が「実はこれが真実だ」とご教示いただければそれに越したことはないし、研究部会の会員も「謎が解明した」と喜ぶはずである。いや、むしろそれを皆が待ち望んでいる状況である。

今福線の研究を始めてから8年が経過した。今福線の面白いところは、現地に何度も新しい発見をするところであり、新たな謎が発生するところでもある。まだまだ未知の部分が多い今福線、今後はまだ解明されていない謎について、一つ一つ検証していきたいと考えている。

以上

〔参考文献〕

1. 小野田滋 著『鉄道構造物探見』(JTB キャンブックス)
2. 『鉄道辞典 上巻』(日本国有鉄道編集 1958)
3. 『鐵道』(平井喜久松 岩波書店 1949)
4. 小林寛則・山崎宏之 著『鉄道とトンネル』(ミネルヴァ書房 2018)
5. 小島英俊 著『鉄道技術の日本史』(中公新書 2015)
6. 小野田滋 著『関西鉄道遺産』(講談社 2014)
7. 山崎弘 著『山陰鉄道物語』(今井書店 2002)
8. 『島根県の近代化遺産』(島根県教育委員会 2002)