

新旧線のトンネルから見る施工法の変遷

河野 靖彦

1. はじめに

今福線のトンネルは、新旧線ともに単線用のコンクリートトンネルで、基本的には変わらないように見える。ところが、現地で覆工コンクリートを見ると、施工法には明らかな違いがあるよう見える。新旧線の時代の違いは約40年、この間にどのような技術的な変遷があったのか。現地のトンネルを見て、古い書物を紐解いて、考えてみることにする。

2. トンネルの施工法

鉄道トンネルにおける施工法は、基本的に山岳工法、開削工法、シールド工法の三種類に大別される。それぞれの工法の特徴は、以下のとおりである。

(1) 山岳工法

文字通り山岳部にトンネルを掘る施工法で、馬蹄形断面のトンネルのほとんどはこの工法で施工されている。

施工は、横方向にトンネルを掘り進めて、後方に支保工を設け、その後からコンクリートなどの覆工を巻いて仕上げる工法である。支保工は時代によって材料や組み立て方式が異なり、昭和30年頃までは木製支保工、昭和30～40年代は鋼製支保工、昭和50年代以降はNATMが主流となっている。

覆工材料は、明治から大正時代は煉瓦や石材が使用され、場所打ちコンクリートが使用されるのは、1916（大正5）年に竣工した北条線（現内房線）の鋸山トンネルからである。覆工コンクリートは、掘削後のトンネル内にセントル（拱架、拱枠）を組み立ててコンクリートを流し込み、脱型して完成となる。セントルの材料は、昭和30年頃までは木製、昭和30年代以降は鋼製セントルが使用されている。

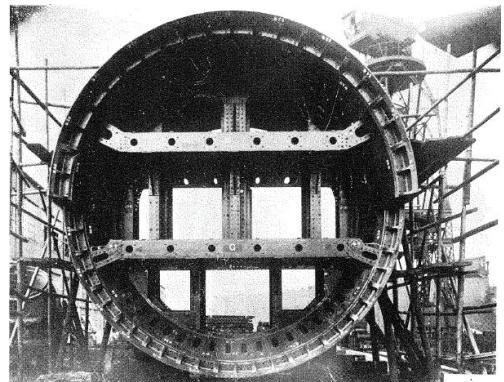
(2) 開削工法

地面を一旦掘り返してトンネルを構築し、再び埋戻す工法で、土留め工で周囲の地盤が崩れないように支えながら掘削する。1837（明治6）年、我が国最初の鉄道トンネルとして完成した、東海道本線の石屋川トンネル（延長61m）でこの工法が採用され、六甲山の麓に発達した天井川を克服することに成功している。本格的にこの工法が採用されたのは、1927（昭和2）年開業の東京地下鉄道（現東京メトロ銀座線）からで、比較的浅い部分にトンネルを構築する場合に適している。

(3) シールド工法

「シールド」と呼ばれる、鋼材を筒状に組み立てた本体内部で掘削を行い、掘削後は本体をジャッキで前進しながら、セグメントと呼ばれるパネルで後方のトンネル壁面を完成させる工法である。

開削工法とともに地下鉄工事で多用される施工法であり、我が国では 1919（大正 8）年、羽越本線の折渡トンネルで一部採用され、1926（大正 15）年の丹奈トンネルに水抜坑として採用、1942（昭和 17）年の関門トンネルで全面的に採用された。



関門トンネル用シールドマシン
(ウィキペディアより)

3. 山岳トンネルの歴史

今福線のトンネルは新旧共に山岳工法で建設されているので、ここでは山岳工法の歴史について紐解いていく。

本格的な山岳工法が採用されたのは、1880（明治 13）年、京都～大津間に建設された逢坂山トンネル（延長 664.8m）である。先に挙げた日本初の石屋川トンネルは、外国人技師の指導の下に建設されたが、このトンネルは設計こそ外国人技師によるものであったが、施工は全て日本人だけで行われた。

逢坂山トンネルの断面は、高さ（レールからトンネル天端までの高さ）14 フィート（4.3m）、幅 14 フィート（4.3m）の馬蹄形単線断面であった。トンネルの坑門は石積みで、覆工は全て煉瓦積みである。使用する煉瓦は、外国人技師の指導の下、日本人の手により製造されている。日本の伝統的な瓦職人が活躍し、瓦用の窯を改造して使用したと伝えられる。



逢坂山トンネル大津方坑門

東海道本線は、1921（大正 10）年に新逢坂山トンネルが完成してルートが変更され、逢坂山トンネルは廃止となつたが、現存する東口の坑門には「楽成頼功」（工事に関わった人々の功に頼って落成した：落は落盤につながるため樂の文字に置換え）の扁額が掲げられている。

日本の鉄道における山岳トンネル工法の変遷について、「掘削」「支保」「覆工」の観点から、およその年代を下図に示す。

山岳工法の歴史			掘削	支保	覆工
明治	1880	逢坂山トンネル完成	手掘り		煉瓦・石積
	1890	ダイナマイトの使用（柳ヶ瀬T）			
	1900	動力に電力使用（笹子T）		木製支保工	
	1910	場所打ちコンクリート覆工（鋸山T）	発破掘削		
	1920	地圧対策にシールド使用（折渡T）			コンクリートフーロック
大正	1930	大型施工機械の採用（清水T）			
	1940	関門鉄道トンネル完成	今福旧線		
	1950	鋼アーチ支保工を採用（大原T）			
	1960	北陸トンネル完成			
	1970	吹付コンクリート本格使用（青函T）			
昭和	1980	NATM導入（中山T）	今福新線		
	1990	膨圧最難航トンネル（鍋立山T）	機械掘削		
	2000	単線前段面TBM（ハッ場T）		鋼製支保工	
	2010	SENS工法導入（三本木原T）			吹付ロックホールト
					場所打ちコンクリート
平成					

図1 日本の鉄道山岳トンネルの技術の変遷

(小島芳之「鉄道山岳トンネルの建設」(鉄道技術)より引用、編集)

4. 旧線、新線施工時の工法の違い

上記の年表に今福線の新旧線の年代を当てはめてみると、旧線は1935(昭和10)年頃の施工で、掘削は手掘り工法、支保は木製支保工、覆工は場所打ちコンクリート(人力打設)となっている。



木製支保工



木製セントル

上の写真は、平成27年度に開催された今福線シンポジウムの際、今福線を実際に施工された「坂根組」のご子息からご提示頂いた写真である。写真帳の表紙に「昭和七年三月廿日竣工 鉄道省木次線第壹工區工事寫眞帖 坂根

組」とあることから、木次線竣工時の写真であることが分かる。今福旧線の施工が行われたのはそのすぐ後なので、旧線のトンネルも同じような工法で施工されたことは想像に難くない。

一方の新線施工は、約40年後の1975（昭和50）年頃に行われている。その時代の工法は、掘削は機械掘削、支保は鋼製支保工、覆工は場所打ちコンクリート（機械打設）となっている。現在主流となったNATMは、この頃まだ導入されておらず、矢板と鋼材で周辺の地山を支える在来工法が一般的であった。



在来工法（寿建設社長ブログより）



鋼製セントル（キザイ工業HPより）

5. 現場で分かれる新旧工法の違い

トンネルを現場で見ると、その外見は似たようなものである。どのような工法で掘削し、どのように地山を支え、たとえ工事中に出水や落盤など様々な困難に立ち向かったとしても、一旦出来てしまえばコンクリートに覆われた唯の空間である。ところが、実際に現場で見比べると、細かな違いが見えてくる。

(1) 型枠の違い

コンクリートものの違いは、見た目ではよく分からないが、コンクリート打設面に残る型枠の線から、使用した型枠の違いが分かる。旧線の今福第1、第3、第4トンネルの側壁を調べたところ、第1トンネルは $150 \times 1800\text{mm}$ 、第3トンネルは $140 \times 1200\text{mm}$ 、第4トンネルは $150 \times 1200\text{mm}$ の木製型枠が使用してあった。スプリングラインから上はアーチを形成するため、長さが同じで、より幅の小さい型枠を使用している。

一方の新線では、下長屋トンネル、御神本トンネル、丸原トンネルを調査

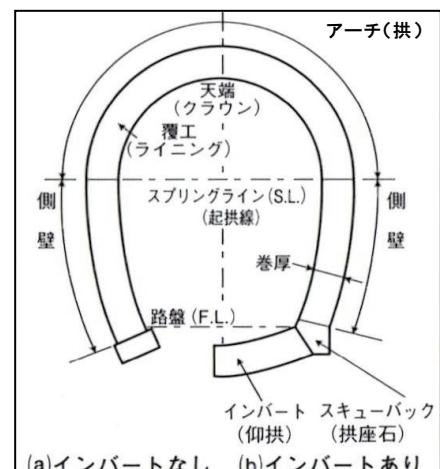


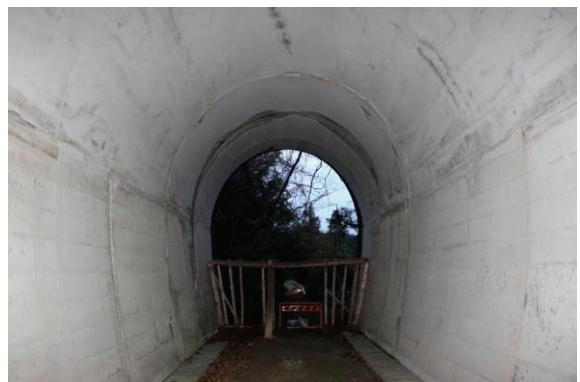
図2 トンネルの部位名称

（参考文献1より）

した。下長屋トンネルは側壁・アーチ部共に合板型枠で、部位によって $150 \times 1500\text{mm}$ 、 $200 \times 1500\text{mm}$ 、 $300 \times 1500\text{mm}$ を使い分けている。御神本トンネルと丸原トンネルは施工業者が同じで、側壁に $300 \times 1500\text{mm}$ の合板型枠、スプリングラインより上の部分は、鋼製型枠を使用していた。下長屋トンネルの竣工は昭和 50 年、御神本、丸原トンネルの竣工は昭和 52 年でほぼ同年代。図 1 では、鋼製型枠の導入は昭和 30 年代と分類されているが、現場によっては、昭和 50 年代にもまだ木製型枠が使用されていたことの証明である。



旧線トンネル（木製型枠）



新線トンネル（木製+鋼製型枠）

(2) コンクリート打設法の違い

覆工コンクリートの打設は、旧線では人力打設で行っている。コンクリートは坑外又は坑口付近で混合し、坑内に運搬した後、作業箇所で巻き上げて打設する。覆工はまず側壁部分を打設し、ある程度進むとアーチ部分を施工する。セントルの上には上木を並べ、左右対称にコンクリートを跳ね上げ、コンクリートの進み具合で上木を重ねていく。最後に打設する、迫上木（せめうわぎ）と呼ばれる天端の部分の型枠だけが、横向きになっているのが人力打設の特徴である。

新線のトンネルは機械打設で、コンクリートポンプを使用して施工された。

鋼製セントルの上木に、鋼製パネルを使用する移動式型枠が普及し、一度に10m単位の打設が可能になった。今回の調査でも、鋼製型枠が使用された御神本、丸原トンネルにおいて 10m 毎に打継目があり、移動式型枠による施工であると確認した。

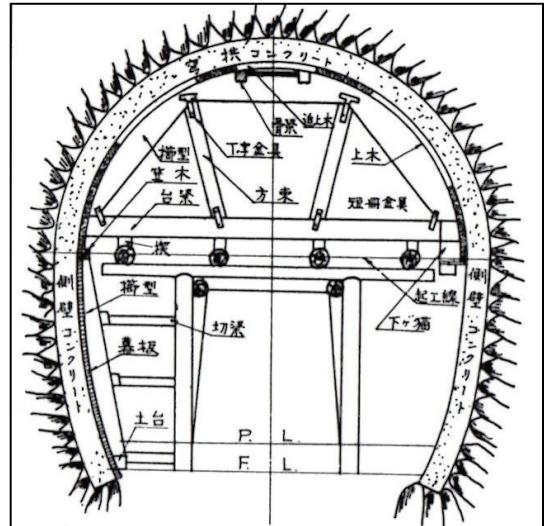


図3 木製セントルの例

(参考文献 1 より)

(3) 銘板と巻き厚表示

新線のトンネルには、名称や長さ、竣工年月日等を記した銘板と、覆工厚の表示がある。こういった表示は、昭和20年代の後半から取り付けられるようになったもので、旧線のトンネルには存在しない。覆工厚については、戦前期では、支保工が不要な地質で23cm、支保工の形式に応じて30cmから最大75cmまでの範囲で設定されていた。戦後の規定でも地質や断面に応じて、30cm～75cmの範囲で設定されている。

旧線のトンネルでは覆工厚を計り知ることは出来ないが、新線のトンネルでは、覆工表示により覆工厚を知ることが出来る。



6. 終わりに

今福線の研究を始めてから7年が経過した。今福線の面白いところは、現地に何度も行つても新しい発見をするところである。今回の調査でも、地元の石本さんの案内により、今福公民館近くにあった旧線の橋梁や、新線の起点杭を見ることが出来た。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疑問点について、一つ一つ検証していきたいと考えている。

[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』日本国有鉄道編集（1958）