

第 107 回

線路下横断構造物

はじめに

線路下を横断する構造物には大小さまざまなものがあり、道路や河川、水路、ケーブル類埋設などの用途で利用されています。ここでは、このうち日本国有鉄道で開発され技術的發展を遂げてきた踏切除却のための線路下横断構造物（以下、「線路下構造物」と記す）に焦点をあて、過去から現在に至るまでの施工法や構造の変遷と、新たな展開について解説します。

踏切除却のための線路下構造物

踏切における交通渋滞は、古くから道路交通容量の低下や交通事故、地域の分断といった社会的な問題とされ、対策が講じられてきました。対策の内容は、歩道の拡幅などの速効対策と、踏切そのものを除却する抜本対策に分けられます。

抜本対策には連続立体交差化と単独立体交差化があります。連続立体交差化とは鉄道を連続して高架化または地下化して、複数の踏切を一挙に除却するものです。一方、単独立体交差化とは個々の踏切において立体交差化するもので、道路を鉄道の上空で交差させる方式（こ線橋方式）と道路を鉄道直下の地下で交差させる方式（架道橋方式）に分かれます。

単独立体交差化では、既存の道路との取り付け距離を最短にして工事範囲、工事ヤードなどの建設費用を抑えるという点で、近年では架道橋方式（図1）が多く採用されており、これがここで扱う線路下構造物です。

この線路下構造物の主な施工法は、大きく「開削工法」と「非開削工法」に分類できます。とくに非開削工法は、「踏切道改良促進法（昭和三十六年法

律第九十五号）」の制定以降に数多くの施工法が開発されてきており、ここで紹介する主な施工法の導入時期をまとめると図2のようになります。

初期の線路下構造物

踏切道改良促進法の制定以前にも線路下構造物は建設されていました。当時採用されていた施工法は、地表面か



図1 単独立体交差の例(架道橋方式)¹⁾

開削工法, 非開削工法	
(以前)	仮線・破線工法
1950年代	工事桁工法
1960年代	踏切道改良促進法制定(1961) フロンテジャッキング工法
1970年代	NNCB工法 URT工法
1980年代	PCR工法 R&C工法
1990年代	JES工法
2000年代	SFT工法 COMPASS工法

図2 線路下構造物の施工法の導入時期（ここで紹介するもの）¹⁾を一部修正

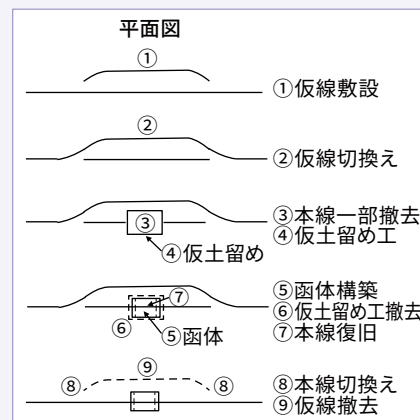


図3 仮線工法の施工手順¹⁾



図4 軌条桁による列車荷重の仮受けの例¹⁾

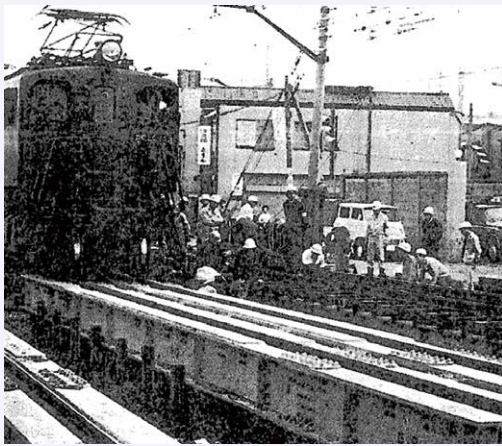


図5 工事桁工法の例²⁾



図6 パイプアーチ工法の例⁴⁾

ら所定の位置まで掘削した上で線路下構造物を構築した後に埋め戻すという開削工法が一般的でした。

開削工法には、仮線を敷設して鉄道に移設し、本線のあった位置に線路下構造物を構築した後に線路を復旧させる「仮線工法」(図3)とよばれるものや、一時的に列車運行を停止して線路下構造物を構築する「破線工法」などが用いられていました。ただし、都市部では仮線のための用地の確保や他の交通機関への振替輸送が困難という短所があります。このため、供用中の線路を仮受けしたうえで、その下の空間を掘削して線路下構造物を構築する工法が開発され、採用されていきました。

昭和初期に考案されたものは、レールを束ねて桁とした軌条桁をまくらぎに剛結することにより列車荷重を仮受けする工法でした(図4)。しかし、大型の線路下構造物を構築するための長

大な仮受けスパンには対応できないことや、列車の速度向上、乗り心地向上などが求められた結果、1950年代に入ると、軌道を仮受けする工事用の仮桁である工事桁が開発され、「工事桁工法」として利用されていくことになります(図5)。

このように、踏切道改良促進法の制定以前には開削工法が用いられ、列車荷重を支持しない状態で構造物を建設するという共通点がありました。そのため、完成する構造物には新線建設の場合と大きな違いはみられませんでした。

しかし、工事桁工法による場合にもケーブル類などの地上設備の移設はともなうため、長い工期と高い工事費を要するという課題がありました。

地表から開削せずに線路下構造物を建設した最初の記録としては、1948年に旧国鉄尼崎港線(福知山線支線、

1984年廃線)の軌道下に、一般的な非開削工法である管推進工法により直径600mmのガス管を敷設したことが残されています³⁾。管推進工法は、管の先端に鋼製の刃口を設けて、刃口で地盤を切削しながらジャッキで管全体を背後から推進するものです。この事例は線路下構造物の規模が小さく、工事が軌道に及ぼす影響は限定的です。

しかし、道路を建設するための線路下構造物はガス管に比べて断面が大きく、軌道の変位・変形を抑止しながら、品質の良い線路下構造物を工事費の面でも有利に建設できる非開削工法が必要でした。

函体推進・けん引工法

線路下構造物を対象とした非開削工法の一つが「かんたい函体推進・けん引工法」です。この工法は、完成した函体を線

エレメント推進・けん引工法

路下に移動させて設置する工法です。

函体推進・けん引工法として、1960年代に「フロンテジャッキング工法」とよばれる施工法が登場します。この工法は路盤の直下に大型の函体（鉄筋コンクリート製の箱型ラーメン）をけん引して設置するもので、開発当初は工事桁を用いて軌道を防護していました。ただし、この方法では、前述したように地上設備を移設する必要があります。そこで工事桁の代わりとして、1970年代以降に山岳トンネルで利用されていたパイプーフ工法が併用されるようになります。

パイプーフ工法（図6）とは、複数の小口径管を構築する線路下構造物の外周に沿って非開削で掘進し軌道を防護するものです。この工法の採用により、大半の地上設備を移設することなく線路下構造物を構築することが可能になりました。

しかし、小口径管は軌道防護のため

の仮設材で、函体上部に残置されるため、函体位置（土被り）が深くなり、既存の道路との取り付け距離が長くなるなどの課題がありました。

1980年代に入ると、小口径管を函体と置き換えて回収する函体推進・けん引工法として、「R&C工法（Roof & Culvert method）」（図7）が開発され、普及していきます。R&C工法では、軌道防護のため推進した小口径管を、発進立坑で構築した函体で置き換えます。

小口径管には置き換えをスムーズにするため、箱形ルーフとよばれる角形鋼管が採用されました。R&C工法には、発進立坑側から推進ジャッキで函体を推進する方式と、フロンテジャッキで函体をけん引する方式があります。

こうすることにより、パイプーフ工法に比べて土被りを小さくすることができ、道路の取り付け距離を短縮することができます（図8）。



図7 R&C工法での施工例⁵⁾

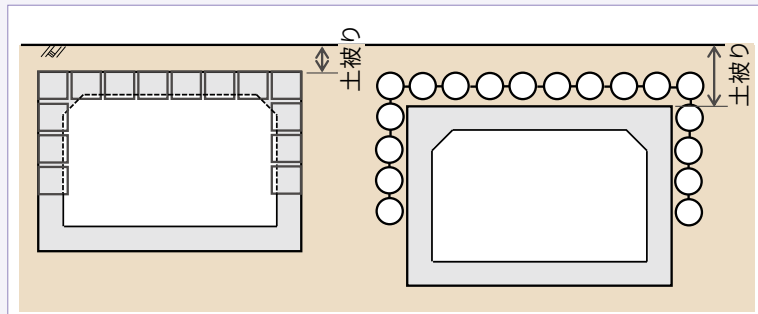


図8 箱形ルーフ(左)とパイプーフ(右)の函体位置の比較

一方、「エレメント推進・けん引工法」は軌道防護のための小口径管などを線路下構造物として本設構造とするものです。ここで、推進あるいはけん引することにより施工し、後に一体化して本設構造とする小口径管などをエレメントとよびます。本設構造として用いることにより、土被りを小さくすることができます。

エレメント推進・けん引工法として、1970年代に「NNCB（日本国有鉄道西松式Circular Beam）工法」が開発されます。NNCB工法は下路桁形式の構造（図9(a))で、エレメントを本設構造とするために円形小口径管の内部にコンクリート梁や鋼管などを挿入して剛性を高めています。

その後、角形の鋼製エレメントを用いて構造部材（横梁）を構成する「URT工法（Under Railway/Road Tunnelling method）」や、角形の中空プレストレストコンクリート梁を構造部材（横梁）とする「PCR工法（Prestressed Concrete Roof）」

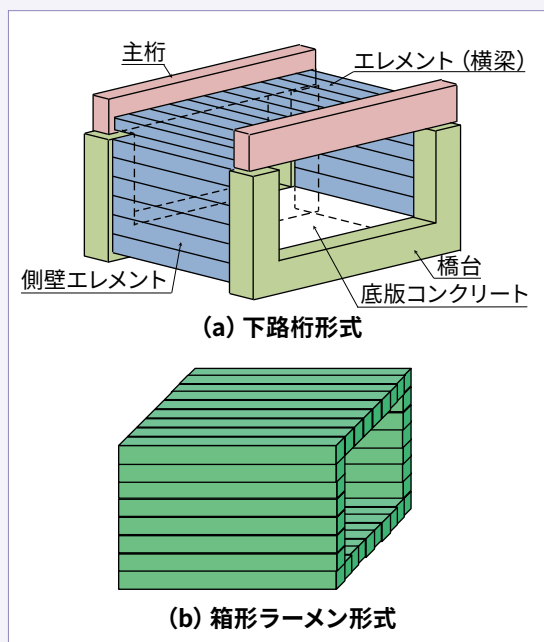


図9 構造形式の変遷
(エレメント推進・けん引工法)¹⁾

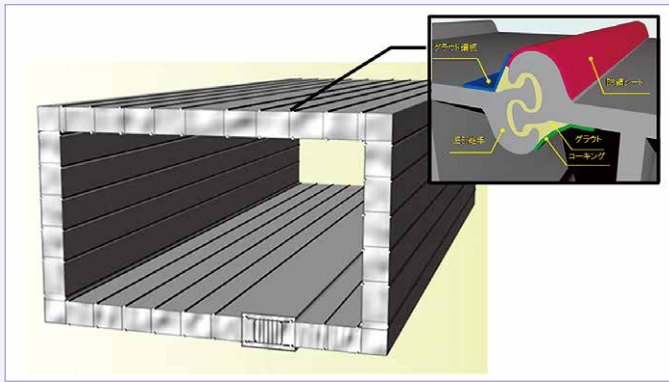


図10 JES工法の概要¹⁾



図11 JES工法での施工例¹⁾

method)」に発展していきました。ただし、いずれの工法も下路桁形式の構造であるため、複線から3線程度までの長さ、すなわち主桁間の路盤幅で15m程度までが限界であることに加え、鉄道事業者による支承部の定期的な検査が必要になるなどの短所もありました。

そこで、エレメントを連結した箱形ラーメン形式の構造(図9(b))が登場し、現在の主流となっています。PC鋼材でエレメントを緊張するURT工法PCボックス形式や、エレメント推進時のガイドであった継手を、力の伝達ができるようにした「JES工法(Jointed Element Structure method)」(図10, 11)が開発されています。

新たな展開

2000年代に入ると、例えば、函体推進時に線路下地盤を掘削せずに済むようにした「SFT工法(Simple & Face-less Tunnel method)」や、先端に切削刃を取り付けて挿入した鋼板で軌道防護を行う「COMPASS工法(COMPAct Support Structure method)」、エレメント掘進時に地盤や礫、玉石などの支障物を切削し、軌道への影響を抑制する地盤切削タイプのJES工法、といった安全性をさらに高めるための工法が開発されています。

このように進化を遂げてきた線路下



図12 河川改修にともなう線路下横断構造物の例¹⁾

構造物の施工法は、国鉄からJRにわたり発展してきた鉄道固有の技術ですが、その周辺地盤への影響を抑制する性能が評価され、近年は高速道路のスマートインターチェンジの建設や、鉄道地下駅リニューアル時の出入口の増設工事などにも利用され、土木学会トンネル工学委員会においても、これらの施工法の種類と特徴をまとめたライブラリー¹⁾が発刊されるなど広く周知されるようになってきました。

また、近年の豪雨災害の増加にともなう河川改修工事が急務となっており、鉄道と河川の交差部における河川拡幅工事にも数多く利用されています(図12)。また、中国や韓国など、アジア圏における踏切除却工事などにも適用されるに至っています。

おわりに

ここでは、踏切除却のための線路下

横断構造物について、初期の開削工法から非開削工法の施工法や構造の変遷と新たな展開について概説しました。鉄道総研においても、より安全で低コスト化に貢献できるような技術開発を進めています。

(板谷創平/構造物技術研究部
トンネル研究室)

文献

- 1) トンネル工学委員会技術小委員会特殊トンネル工法に関する技術検討部会：トンネル・ライブラリー第31号 特殊トンネル工法―道路や鉄道との立体交差トンネル―、土木学会、2019
- 2) 構造物設計事務所：グラフ 工事術、構造物設計資料、No.11、1967
- 3) 竹下貞雄：推進工法の現状と将来、鉄道技術研究資料、Vol.40、No.4、1983
- 4) THパイプルーフ技術協会：THパイプルーフ工法の施工事例、http://www.piperroof.jp/construction_examples.html (入手日：2021/3/25)
- 5) アンダーパス技術協会：R&C工法、<http://underpass.info/rc.html> (入手日：2021/3/25)