

鉄道の立体交差技術と今後の動向

Recent Development of Railway Viaduct Structures and Underpass Structures

清水 満 (しみず みつる)

東日本旅客鉄道株式会社 技術センター 課長

渡邊 康夫 (わたなべ やすお)

東日本旅客鉄道株式会社 技術センター 課長

1 はじめに

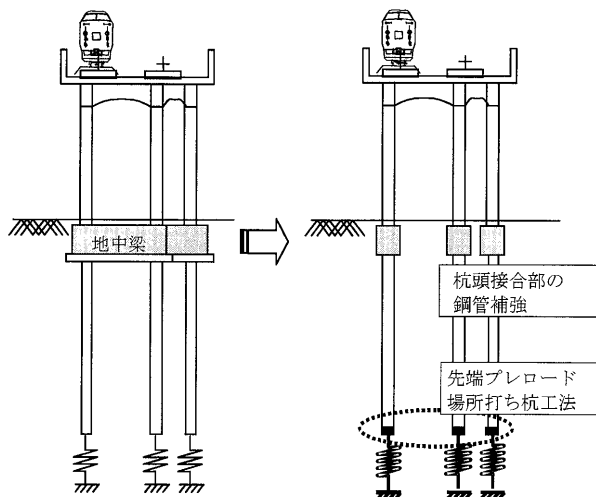
我が国では古くから鉄道網が発達し地域発展に大きな役割を果たしてきた。しかし、鉄道が地平を走るることによる踏切での交通渋滞や交通事故の発生などにより、都市機能に支障をきたすケースが発生してきている。このため、鉄道を高架化または地下化することによる連続立体交差事業や、道路を地下化する単独立体交差事業が進められてきている。これらの立体交差事業は、今後も都市基盤整備の観点からますます進展が望まれる事業と考えられる。

ここでは、鉄道分野における社会基盤整備という意味で、鉄道の立体交差工事の概要を説明するとともに、今後の技術開発の動向について概説する。

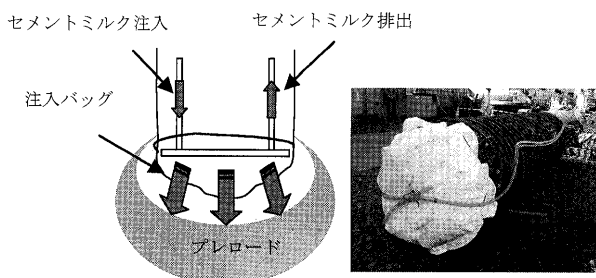
2. 連続立体交差の技術

高架構造による連続立体交差の施工方式には、仮線方式、別線方式、および直上高架方式がある。仮線方式は、現在と違う場所に仮線を設置して仮運行した後に現在線を撤去し、その場所に高架橋を建設した後に仮線を撤去する方式であり、仮線跡地を環境側道に利用する場合もある。別線方式は現在線と違う場所に高架橋を建設し、運行後に現在線を撤去する方式であり、この場合、現在線位置に新たに高架橋を建設することにより、線増事業も同時に行う場合もある。直上高架方式は、現在線を運行しながらその直上に高架橋を建設するものであり、基礎工から上部工まですべての作業が列車運行に支障する範囲での施工となるため、工期が長くなり、工事費も多くかかることから、仮線、別線の用地を確保できない場合にのみこの方式が採用されることとなる。

都市部での施工では、連続立体交差化に合わせて駅の高架化も行われるため、複数の路線が走行する駅では、お客様がご利用を続ける中での工事となるため、1線毎に工事スペースを確保しながらの段階的な施工となる。施工技術としては、基本的には一般の高架橋構築技術と同様であるが、狭隘な作業スペースで既設の構造物や軌道との近接施工となるなどの制約が多い工事を行う中で、お客様にご不便をおかけする工事期間をできるだけ短くする必要があることから、高架橋施工の効率化が求められている。一般の高架橋の建設の流れは、基礎杭を施工し、地中梁、柱、梁とスラブ、軌道の順で施工している。鉄道の立体交差に伴う高架橋の工事では両側を制約され



図一 鉄道高架橋地中梁省略のイメージ



図二 先端プレロード場所打ち杭のイメージ

た作業スペースで、搬入口も限られた中で高架橋を構築することとなる。そのために、地中梁の施工中は隣接区間への資材の搬入が難しくなるため他の区間の施工を制約し、工程上のロスが発生してしまう。このように地中梁の施工は工事工程上のネックとなっているため、図一に示すように、「先端プレロード場所打ち杭工法」や「杭頭接合部を鋼管で補強する工法」を組み合わせ、地中梁の省略を効率的に実施してきた。

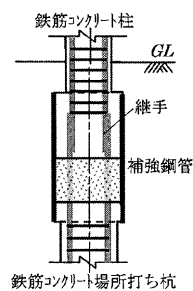
軌道を支持する鉄道構造物は、列車の安全運行のため沈下量が厳しく制限されている。高架橋で使用される杭は、作業スペースや使用機械に制約があるため、場所打ち杭を使用しているが、一般に場所打ち杭は、杭孔掘削時の孔底地盤の乱れや応力解放、掘削時のスライムの存在により、先端支持力を発揮するまでの杭頭沈下量が大きいと言われており、不同沈下の影響を設計上考慮する必要がある。そこで、これまでの鉄道高架橋においては、杭相互間の支持性状の違いによる不同沈下に起因した上

部工の各部材への影響を軽減するため、高架橋は地中梁を設けた構造としてきた。そのため地中梁を省略する際には、場所打ち杭の施工の不確実性に伴う高架橋接合部への不同沈下の影響を最小限にすることとし、場所打ち杭の沈下防止のための対策を行うこととした。そこで、場所打ち杭削孔時のスライムの排除と先端地盤の応力解放の影響を最小化する「先端プレロード場所打ち杭工法」を開発した。先端プレロード場所打ち杭工法は、図—2に示すように、場所打ちコンクリート杭の杭体コンクリート硬化後、鉄筋かご先端にあらかじめ取り付け付けた注入バックに地上からセメントミルク等を注入し、注入バックの膨張により杭先端のスライム除去を、注入圧力により地盤の強化を行い、杭の沈下量の減少と支持力の向上を図る工法である。先端プレロード場所打ち杭工法は平成13年に上越新幹線本庄早稲田駅高架橋工事で実用化し、これまで三鷹・立川間連続立体交差化工事や浦和駅高架化工事等で適用を進めてきている。

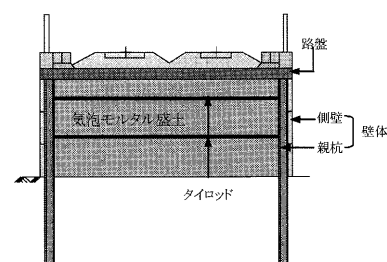
また、地中梁を省略する際には杭と柱の接合部の定着にも配慮が必要となる。杭と柱のそれぞれの主鉄筋を定着するには接合部の断面を大きくする必要があるが、必要断面をこれまでどおりコンクリート構造として施工した場合には、地中梁を省略した効果が少なくなってしまう。そこで、図—3に示す鉄筋の定着部を鋼管で補強する工法を採用してきている。定着部を鋼管で補強する工法の施工手順は、杭施工の際に口元管と兼用した鋼管を圧入し、先端プレロード場所打ち杭を構築する。鋼管の中で杭の鉄筋と柱の鉄筋をラップさせコンクリートを打設し、その後柱の施工を行うという順序となる。なお、鋼管で接合部を補強することにより、杭頭部に余盛りした品質の低下しているコンクリートの撤去も省略することができるため、施工も効率的に行うことができる。

高架橋のアプローチ部は盛土構造となるが、この盛土工事も線路に近接した狭隘な作業環境の中での施工となる。通常の土砂を使用した盛土は、盛土材料の運搬や敷き均し、締固めのため重機を使用することとなるが、狭隘な作業環境での複数の重機の使用は、施工管理、工事の安全確保等において苦勞することが多く、工事費も割高となってしまう。そのため、アプローチ部の盛土には軽量で締固め不要な気泡モルタル盛土を用いている。気泡モルタル盛土は、粘土系鉱物を微粉末化した粘土と固化材を泥水状態にし、これに気泡を混入した軽量土で、盛土荷重の軽減による支持地盤の沈下の抑制や擁壁等に作用する土圧の軽減などとともに、ポンプ圧送により搬送が可能で施工も容易であるという利点を持っている。図—4は気泡モルタル盛土の標準的な断面を示したもので、施工時に型枠代わりとなる親杭横矢板形式の側壁を設置し、その内側に盛土を構築することとなる。気泡モルタル盛土の施工は、材料の搬入が容易な作業ヤードに気泡モルタルのプラントを造り、施工箇所までポンプ圧送することにより盛土を造成することとなる。

連続立体交差工事の技術としては、狭隘な作業環境の中でも施工効率が高く、信頼性の高い工法が求められて



図—3



図—4 気泡モルタル盛土の標準断面

いる。これまでも新しい技術の開発を進めてきているが、鉄道の高架橋は、現状でもまだ通常の高架橋建設に比べてコストの高い構造物となっているため、今後もさらなる技術開発が必要と考えている。

3. 単独立体交差の技術

立体交差事業は都市機能再生の観点から、効率的かつ速やかな実施が求められるが、立体交差事業の実施においても最も重要なことは、既存交差交通の安全性と通行の維持である。近年立体交差に関する新技術が次々と提案されてきているが、これらの技術開発にあたっては、上記の安全、機能維持の観点を考慮して開発、実施されることが必要と考えている。踏切の解消方法としてもっとも有効な方法は鉄道の立体交差化であるが、鉄道を立体交差するには多くの費用と工期を要するため、これに準じる方法として道路の単独立体交差化がある。この道路の単独立体交差化には道路を鉄道の下で交差させる方法（跨道橋方式）と道路を鉄道の上で交差させる方式（跨線橋方式）があるが、既存の道路との取り付け距離を最短とする観点から跨道橋方式（線路下横断）が多く採用されている。

現在実用化されている線路下横断工法を大別すると、開削方式と非開削方式の二つに分けられ、それぞれ施工方法によりさまざまに分類される。開削工法は古くより用いられてきた工法で、軌道を工事桁により仮受けし、この桁の下に場所打ちで函体を構築する工法である。工事桁の架設、撤去、工事桁用橋台の設置は、列車が走行しない時間帯に施工する必要があるが、また工事桁架設期間中は仮設の桁上を列車が走行することとなるため、通常は列車速度に制限をかけた運転（徐行運転）をすることとなる。そのため都市部での施工では、列車運行に支障が少ない非開削工法を採用するのが一般的である。非開削工法は表—1のように分類されており、構造形式で区分すると下路桁方式と箱型形式に分けられる。

下路桁方式は線路横断方向に鋼製またはコンクリート製のエレメントを挿入しこれを下路桁として主桁、橋台で受ける形式で「URT 工法」や RC 製の「PCR 工法」がある。これらの工法は、エレメントが線路横断方向の下路桁として軌道荷重を受けることとなるため、構造的に複線程度の横断距離が限界となることや、下路桁形式のためシェーが必要となり、供用開始後にも構造物の定期的な検査が必要になる等の課題がある。

表一 構造形式による線路下横断工法の分類

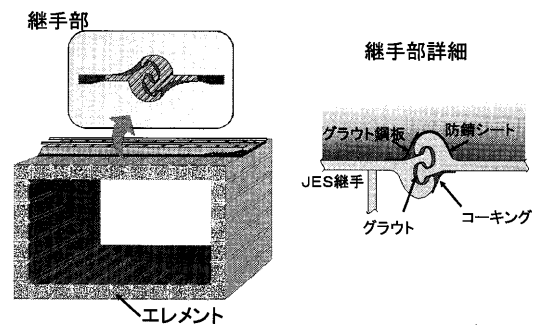
構造形式	工法概要	工法名	防護工の扱い	本体構築方法	軌道に影響を与えるおそれのある主な作業	横断延長の制限	特記事項
下路桁形式	挿入したエレメントを下路桁とし、主桁、橋台により支持する工法	URT工法	本体利用	主桁、橋台	1回 (エレメント挿入)	複線程度	シューのメンテナンスが必要
		PCR工法					
		NNCB工法					
箱型形式	線路下で函体を場所打ちする工法	パイプルーフ工法	仮設利用	線路下で場所打ち	2回(防護工挿入,内部掘削)	なし	支保工設置に伴い、函体施工が煩雑になる
		パイプビーム工法					
		フロンテジャッキング工法					
	函体を地中に挿入する工法	BR工法	仮設利用	函体挿入	2回(防護工挿入,内部掘削)	なし	・良好な管理のもとで函体構築が可能 ・函体のけん引、推進時の軌道変状
		SC工法					
		ESA工法					
	エレメントを横方向に剛結する工法	エレメント横締め工法 (URT)	本体利用	エレメント内コンクリート充填	1回 (エレメント挿入)	なし	狭隘箇所 緊張作業が必要となる。 継手が力を伝達する
		エレメント横締め工法 (PCR)					
		JES工法					

箱形形式の非開削工法は防護工の扱いや本体の構築方法によって区分されている。軌道を軌道下に連続して挿入した鋼管（パイプルーフ等）により仮受けした後、その下を掘削しながら支保工を建て込み、場所打ちで函体を構築する工法が「パイプルーフ工法」、「パイプビーム工法」である。また、パイプルーフ等で軌道を防護した後、立坑で製作した函体を線路下に引き込む工法が「フロンテジャッキング工法」であり、函体上床版位置に角型鋼管による防護工を挿入し、函体挿入時に防護工を押し出す工法が「BR工法」、「SC工法」等である。これらの工法は軌道防護のためのパイプルーフ等の防護工挿入時とその後の線路下掘削および函体挿入時の2回の線路下での作業があり、軌道への変状リスクを伴う作業となるため、列車の安定輸送に課題が残っている。

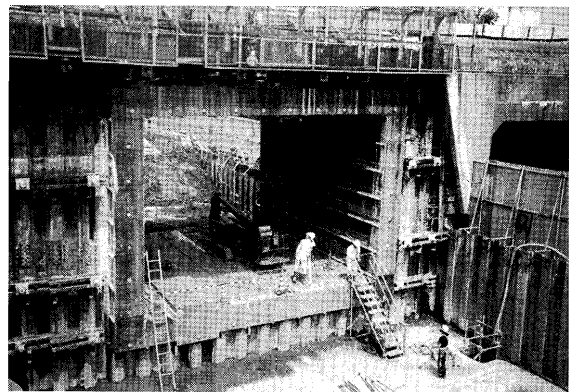
地中に挿入したエレメントを横方向に締結して函体を構築する工法が、「エレメント横締め工法」と「JES工法」である。「エレメント横締め工法」は、従来下路形式として採用されているURT工法やPCR工法において、地中に挿入したエレメントをPC鋼材により横方向に緊張し、これによりエレメント相互が剛結されたボックス構造の函体を構築する工法である。これらの工法は、線路下で行う軌道への影響を与える恐れのある作業がエレメントの挿入時1回のみであることから、軌道変状リスクの少ない工法と考えられる。

「JES工法」は、図一5、写真一1に示すように、エレメントの横方向の連結方式が隣接エレメント相互を剛な継手で嵌合挿入する工法であり、エレメント横締め工法と同様にエレメントを本体構造として使用することから、軌道変状リスクの小さい工法である。また、エレメントの線路下挿入時の継手の嵌合と挿入終了後のグラウト充填によりエレメント相互を剛に連結することが可能であることから、エレメント内におけるPC鋼材による緊張という狭隘・煩雑な作業が不要となり工費、工期の削減が可能な工法となっている。

立体交差事業は地域の活性化や都市環境の改善のために必要な事業であり、この事業の推進のためには限られた資金を効率的に使用する必要がある。しかし、同時に交差交通の安全と維持は絶対に守らなければならない。このためには、安全性と経済性を併せ持つ立体交差技術



図一5 JES工法の概要



写真一1 JES工法の施工状況

が必要であり、この技術の確立を目指してさらなる開発を進めていく必要であると考えている。

4. おわりに

本論では鉄道の立体交差技術について、駅部を含めて高架橋を構築する連続立体交差と、道路が線路下を交差する単独立体交差のそれぞれの技術の概要と今後の課題について記述した。鉄道工事の特徴として、安全輸送を確保しながら施工を行うという、鉄道固有の技術が求められており、特に線路下で行われる単独立体交差工事では厳しい施工条件となる。今後とも鉄道事業者として、安全でかつ経済的な施工技術を開発する必要があると考えている。

(原稿受理 2007.1.31)