

横浜北線鉄道交差部の施工—急曲線桁の線路上空短時間架設ほか—

鹿島建設(株) 正会員 ○貞末 和宏 三浦 信幸
井上 透 石松 信哉
東日本旅客鉄道(株) 正会員 吉田 一
首都高速道路(株) 正会員 森 健太郎

1. はじめに

高速神奈川7号横浜北線（以下「横浜北線」という）は、第三京浜道路横浜港北ジャンクションから首都高横羽線生麦ジャンクションまでを結ぶ約8.2kmの自動車専用道路である。横浜北部地区から横浜中心部、羽田空港、京浜湾岸部へのアクセス向上を目的として建設し、2017年3月に開通し、現在供用中である（図-1）。

本稿は横浜北線のうち、多数の鉄道営業線と立体交差する工区（鉄道交差部）における跨線道路橋の施工実績のうち、上部工架設、基礎構築、橋面設備構築について報告する。



図-1 横浜北線全体概要図



図-2 横浜北線鉄道交差部全景

2. 鐵道交差部橋梁概要

(1) 架設箇所環境

横浜北線鉄道交差部橋梁は、JR 東日本線（横須賀線，東海道線，京浜東北線，貨物線），京浜急行線の計 10 線の鉄道路線及び国道 15 号と立体交差する 7 本の跨線道路橋（首都高速本線上下桁 2 橋，横浜市道岸谷生麦線桁 2 橋，ランプ橋 3 橋）である（図-2）。

架設する箇所は、1 日約 2,000 本の列車が通過する首都圏重要線路直上であることに加え、桁自体が不等幅かつ平面曲線を有し、このような条件による架設は前例がなく、高い架設技術を必要とする工事である。また、架設箇所付近は既に市街化が進んでいる地域で、工事ヤードは極めて狭隘であった。

(2) 構造物諸元と特徴

本構造物の構造諸元を表-1,2に示す。上部工は鋼床版箱桁橋、橋脚はT型鋼製橋脚、基礎はニューマチックケーソンまたは開削工法による場所打ち基礎で構成されている。

本橋の道路線形は曲線状であり、ランプ部を含むため、道路幅員すなわち桁幅も位置により変化する。また、各橋梁で勾配が異なる。桁幅が位置ごとに変化することにより、鋼桁の断面形状が都度変化し、構造が複雑化している。

表-1 工事諸元

項目	数量	備考
鋼桁架設	8.235 6 t	
鋼製橋脚架設	486.6 t	
橋脚基礎	6基	ニューマチックケースン:3基 開削工法:3基
裏面吸音板	13.344 m ²	

表-2 上部工諸元

路線	形式	橋長 (支間長)
岸谷生麦線下り	3区間連続鋼床版箱桁	208.59 m (43.1+89.8+73.7)
Cランプ	2区間連続鋼床版箱桁 (岸谷生麦線下りと連続化)	169.31 m (89.0+80.7)
本線外回り (現:本線上り線)	3区間連続鋼床版箱桁	244.96 m (57.1+88.2+97.7)
Dランプ	1区間連続鋼床版箱桁 (本線外回りと連続化)	98.66 m (97.6)
本線内回り (現:本線下り線)	4区間連続鋼床版箱桁	252.35 m (49.0+53.4+52.6+95.5)
岸谷生麦線上り	4区間連続鋼床版箱桁	286.17 m (68.2+51.1+58.4+105.6)
Bランプ	1区間連続鋼床版箱桁 (岸谷生麦線上りと連続化)	102.98 m (105.8)

キーワード 線路上空、曲線桁、ニューマチックケーソン、送り出し架設、横取り架設

連絡先 〒231-0011 横浜市中区太田町 4-51 鹿島建設(株)横浜支店 十木部 TEL.045-641-9081

橋上には鉄筋コンクリート製壁高欄及び遮音壁が配置され、下面には騒音対策兼点検通路の目的から、裏面吸音板が配置される。裏面吸音板は、鋼製骨組みおよび吸音材で構成されており、鋼桁のボックス下部、側桁等から吊る構造となっている（図-3）。壁高欄、遮音壁、裏面吸音板設備は鋼桁架設完了後または同時並行で施工し、ほとんどのエリアで線路上空・国道上空での施工となるため、施工技術面だけでなく、工程・安全確保などの観点からも難易度が高かった。

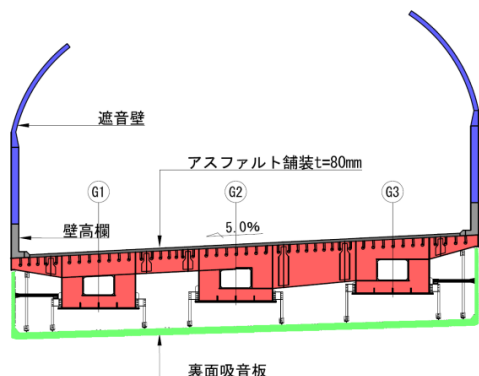


図-3 上部工標準断面図
(本線外回り桁の例)

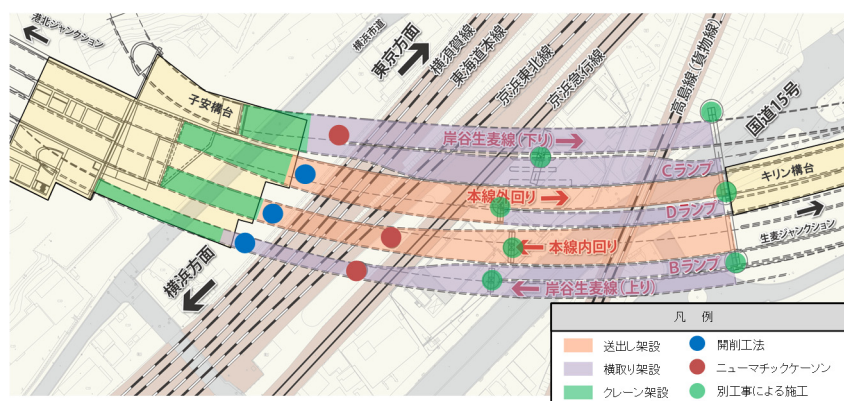


図-4 全体平面図と上部工架設工法区分

3. 営業線直上における急曲線桁の架設

(1) 鋼桁架設概要

本工事では、いくつかの架設工法を選定して桁架設を実施した（図-4）。工事の前半で架設する本線桁の2橋梁は送り出し架設工法にて、市道岸谷生麦線およびランプ桁の5橋梁は、先行架設する本線桁を利用して所定位置まで縦取りした後、横取り架設工法にて架設した。また、起点方(港北JCT方)に位置する第1径間桁については、線路直上の桁架設完了後、クレーンバント架設工法にて架設した。以下、主なものとして送り出し架設と横取り架設について、計画と実績の概要を示す。

(2) 曲線送り出し架設

本工事では、工事ヤードが狭隘で、桁の地組スペースに制約があることから、曲線桁を曲線状に送り出す「曲線送り出し架設工法」を採用した。これは、同時期に架設できる桁を増やし、工程上の合理化を図るうえでメリットがある。ここでは、曲線送り出し架設工法により架設した桁のうち、本線内回り（現：本線下り）桁について、架設計画の概要、課題と対策および施工実績について述べる。

a) 曲線送り出し架設計画概要（本線内回り桁）

曲線送り出し架設する本線内回り桁（図-5）は、起点方に設置した子安構台にて桁を地組した。400mの平面曲線半径を有し、桁幅が起点方に向かって漸減する構造となっている。重量約2,000t、全長約250mを複数回の曲線送り出し作業を繰り返すことにより架設した。送り出しは計7回に分けて行い、最長77.4mを一晩で送り出した。送り出し作業を複数回に分割した理由は以下のとおりである。

- ・ 鉄道営業線直上のため、終電後から初電までの架設となり、時間的制約がある。
- ・ 地組を行う子安構台や到達側の作業スペースが狭く、一度に地組できる長さに限りがある。
- ・ 平面曲線、桁幅漸減（3主桁→2主桁）に加え、主桁高さも2,800mmから1,200mmに変化するため、途中に段取り替えを要する。

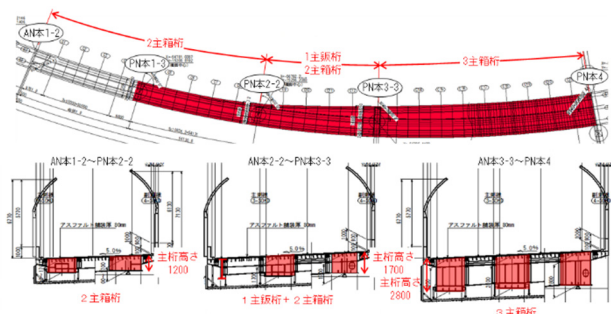


図-5 本線内回り平面・断面図

-139-

い場合には桁が計画上の軌跡から横ずれを起こす問題がある。

そこで、当夜想定される桁の軌跡から、推進方向の変化の範囲を特定し、計画方向から最も誤差が少なくなる方向を装置の据付方向とした(図-12)。

桁幅の変化に伴い、橋軸直角方向の相対位置は送り出しの進捗に伴い刻一刻と変化し、これに対応するために、センサガイド付横移動装置(スライディングシップ)上にエンドレス装置を設置した。圧力感知センサ付ガイドは、主桁から受ける水平力を一定に保つように横移動装置を自動で制御し、位置を調整する機構とした(図-13)。

e) 送り出し架設の施工実績

最長となる 77.4m を送り出した本線内回り桁第 3 回送り出しのサイクルタイムの計画と実績を図-14 に示す。当夜の実績では、諸対策が効果を発揮し、ほぼ計画に近いサイクルタイムで進捗し、作業は制限時間内に問題なく完了させることができた。

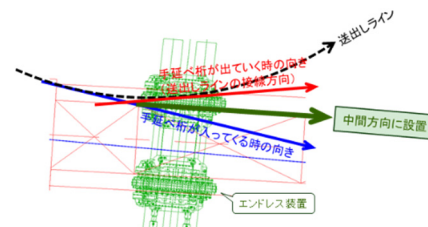


図-12 エンドレス装置設置方向

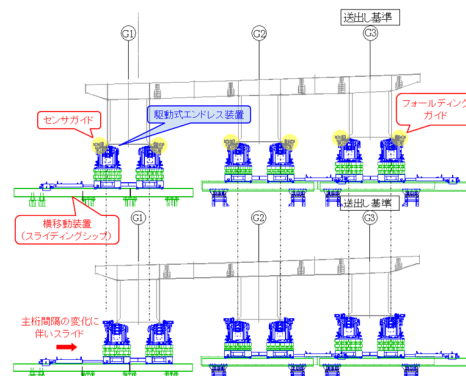


図-13 エンドレス装置概要

		22					23					0					1					2					3					4					5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
		10	20	30	40	50	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
線路閉鎖間合い (J R 線、京急線、高島線)												0 : 22																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	

図-14 本線内回り第 3 回送り出しサイクルタイムの計画と実績

(3) 横取り架設

本線桁架設が完了した後、架設済みの鋼桁(親桁)上に設置した軌条により所定の架設位置の側部まで縦取りした後、横方向にスライドさせる横取り架設にて桁の架設を行った。市道岸谷生麦線およびランプ桁の 5 橋が対象である。ここでは、横取り架設工法により架設した桁のうち、C ランプ桁について、架設計画の概要、留意点および施工実績について述べる。

a) 横取り架設計画概要

C ランプは終点方に位置する構台(麒麟構台)にて桁を地組し、先行架設した親桁上に設置した軌条設備の上を台車にて走行させ、架設位置の側部まで縦取りし、橋脚上に設置した横取り設備を支持点として横取りを行う(図-15, 16)。C ランプ桁は、桁幅が一様でない 2 径間に跨る曲線桁で、横取り架設する橋梁の中で最大重量(約 1,100t)であり、JR 線、京急線および国道 15 号上空を縦取りし、それらを横断しながら横取り架設を行う。以下、縦取り、横取りの作業の概要と留意点および施工実績について述べる。

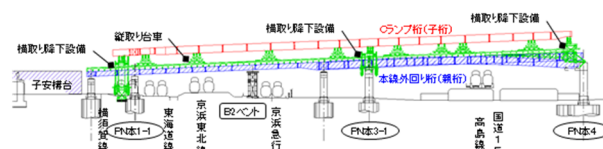


図-15 C ランプ架設計画縦断面図

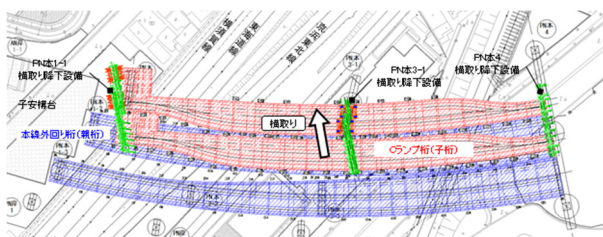


図-16 C ランプ架設計画平面図

b) 縦取り概要と留意点

縦取りは、桁を支持する縦取り台車に取り付けた水平ジャッキとレールクランプを推進設備として、ジャッキのストロークを盛り替えながら桁を推進した。送り出し時と同様、曲線状の縦取りとなるため、各軌条の内側と外側で台車の速度に差異を与える必要がある。これに対応するため、水平ジャッキに用いる油圧ポンプの吐出量をインバータにて個別に設定管理した。

縦取りは親桁の上を走行するため、親桁のたわみにより台車間の反力が変動し、それに伴い桁の損傷や転倒が発生することが想定される。そこで、縦取り時は各台車の反力を鉛直ジャッキにて常時管理し、鉛直ジャッキのストロークを伸縮させることにより縦取り時の親桁のたわみを吸収させ、桁の安全性が保たれる反力（計画反力）の範囲に収まるよう管理した。

c) 横取り概要と留意点

横取りは、橋脚および親桁上のベント設備を介して設置した横取り設備の上で、桁を横取り梁に沿って水平に移動させることで行った。桁はスライディングジャッキにて支持し、それに接続した水平ジャッキおよび H 鋼クランプジャッキを推進設備として桁を推進した。

横取り梁は、継目に段差があると横取りに支障をきたすため、段差が生じない構造とした（図-17）。また、主桁に縦断勾配があること、各横取り設備に作用する反力が異なることから、横取り時に桁が橋軸方向に移動しやすい状況にあった。そこで、スライディングジャッキに横方向（橋軸方向）の調整ジャッキを内蔵し、そのジャッキを操作することで、桁の橋軸方向位置を制御・調整できる機能を持たせた（図-18）。



図-17 横取り設備概要

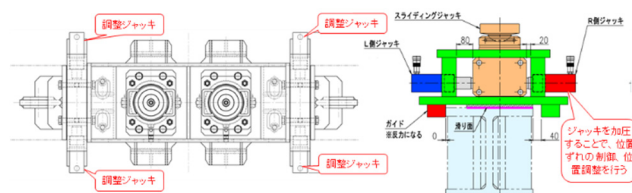
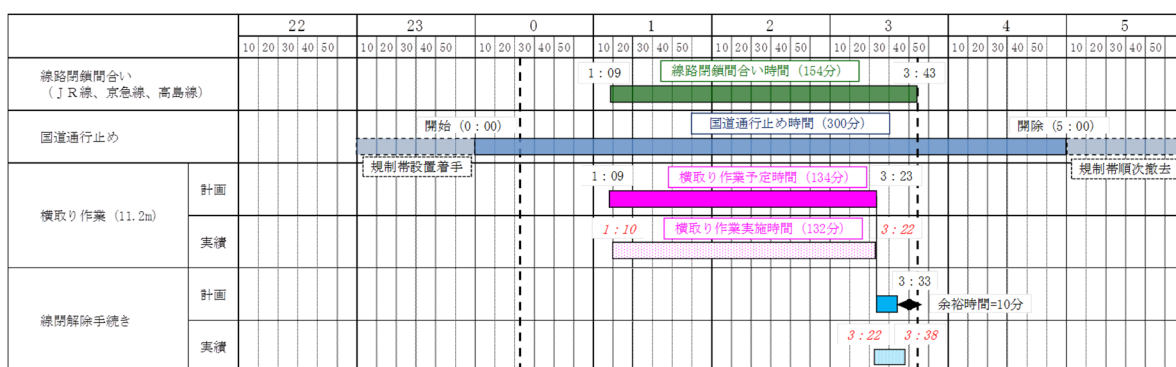


図-18 スライディングジャッキ概要

d) 施工実績

C ランプの横取り量は 14.5m であり、2 日に分けて行ったが、そのうち 11.2m を横取りした 1 日目のサイクルタイムを図-19 に示す。所定の制限時間内に問題なく横取り作業を完了させることができた。



4. 線路に挟まれた狭隘ヤードにおけるニューマチックケーソンの営業線近接施工

(1) 計画概要・施工条件

本工事では、営業線近接条件下において、橋脚基礎として 3 基のニューマチックケーソン(スリムケーソン)を施工した。このうち、PN 本 2-2、PN 岸 2 の 2 基については、幅 11m 程度の線路に挟まれた狭隘なヤード内で、軌道中心との離隔は最小 5m 程度しかない条件であった(図-20, 21)。ここでは、代表例として PN 本 2-2 について、施工概要、課題と対策および施工実績について述べる。

PN 本 2-2 の基礎一般図を図-22 に示す。基礎形状は円形で、径＝7.0m、基礎延長＝22.5m、先端深さ＝GL-24.5m である。地質は地表面から 3m 程度掘削すると固結シルト層とシルトまじり細砂が互層で堆積し、20m 程続く。その下位には固結した泥岩層があり、この層を支持層とした。地下水位は GL-2.0m 程度と比較的浅い。

(2) 課題と対策

本工事での主な課題は以下のとおりである。

- ① 硬質地盤を対象とした沈設となるため、刃口先端の硬質粘性土地盤が脆性破壊することによる急激沈下とそれに伴う振動・騒音、鉄道営業線の運転支障や近隣家屋への影響が懸念される
- ② ケーソン躯体の傾斜や部分的な孔壁の変形が生じた場合、想定以上の周面摩擦が作用し、沈下力不足となる可能性がある。
- ③ 狭隘なヤードでクレーン等の施工機械を使用するため、誤動作等による鉄道営業線への支障が懸念される

以上の課題を踏まえ、①②については、刃口が接する位置に事前に先行削孔置換杭（ケーシングにて先行削孔し、砕石置換）を施す対策を実施した（図-22, 23）。これにより、刃口先端地盤が砕石と置き換えられ、脆性破壊を予防することができ、周面摩擦についても原地盤から適度に軽減され、スムーズな沈設が可能になる計画とした。また完成時の支持力低下を起こさないよう、沈設後、周面にグラウト注入し、置換範囲から基礎先端を除外し、先端支持力を確実に確保するよう配慮した（図-22）。

③については、一般的な油圧ホイールクレーンでは半径・高さ・角度のみ制御が可能だが、本工事のような狭隘な作業ヤードでは十分な作業効率とならないため、任意の多角形状に制御できる「多点形状範囲制御リミッター機能付きクレーン」を導入することにより、オペレーターの誤操作による列車への支障リスクを回避して作業を行った（図-25）。

(3) 施工実績

本工事における沈下関係図を図-26 に示す。図-24 の「状態 1」（地山部が未掘削の状態）と「状態 2」（地山部掘削後の状態）のそれぞれにおける沈下抵抗力和、全沈下力との関係を示す。図-26 より、全沈下力のグラ



図-20 ケーソン施工箇所全景

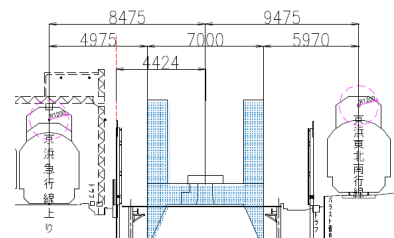


図-21 営業線との近接状況

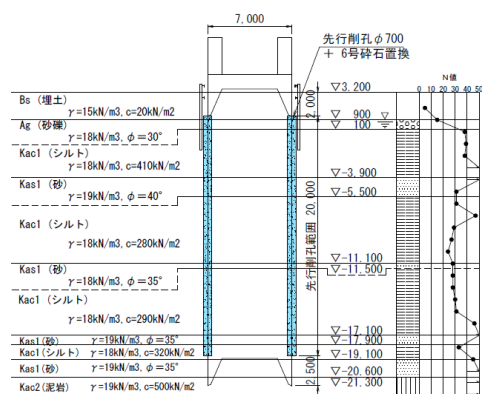


図-22 一般図・地質条件

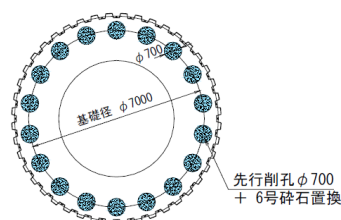


図-23 先行削孔配置平面図

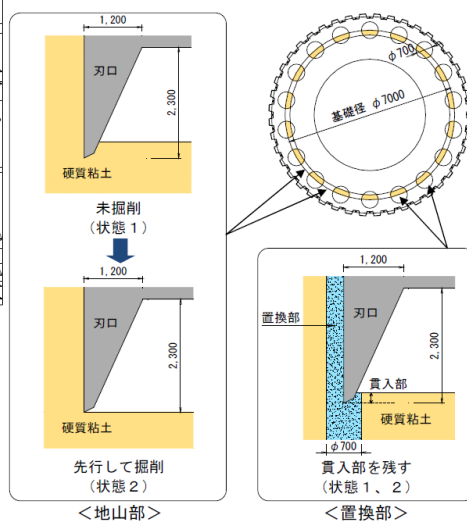


図-24 掘削方法概念図

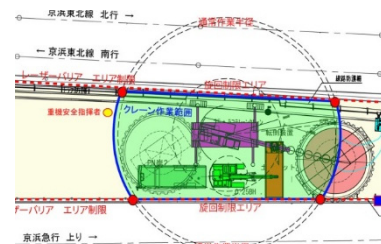


図-25 多点形状範囲制御リミッター機能付きクレーン

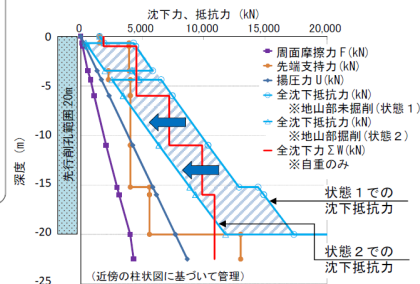


図-26 沈下関係図

フが「状態 1」と「状態 2」の間にあることから、置換部以外の地山部の掘削を進めることで沈下力>沈下抵抗力となり、沈設が進むことがわかる。また、刃口が多少貫入することで先端支持力が回復し、沈下力<沈下抵抗力となることから急激沈下は抑制されることもわかる。

以上のように、先行削孔を実施し、**図-24**に示すように掘削を行うことにより、急激沈下、沈下力不足等のトラブルなく、軌道への変状も所定の管理値以内に抑えて沈設を完了することができた。

5. 営業線直上における裏面吸音板の施工

本橋は、騒音軽減のために桁下面に裏面吸音板の設置が計画されていた。裏面吸音板は、**図-27, 28**に示すように桁下面・側面に取り付けた鋼材を骨組みとして、吸音板とルーバーを下面に取り付けるものである。この裏面吸音板の計画・施工に際しての課題と留意した点について述べる。

裏面吸音板の計画・施工に際して以下の点が課題として挙げられた。

- ① 桁下面に設置するため、桁を所定の位置に架設した後に設置する必要があるが、営業線直上、道路直上での架設作業となる
- ② 工程上、各桁の架設が完了次第設置することが求められる一方、裏面吸音板設置後に桁に発生するたわみ変化により、裏面吸音板の骨組みに損傷が発生することが懸念される。

①については、設置箇所に応じて高所作業車による直接取付と、仮設吊り足場を桁下面に設置した上で、その中で設置を行う箇所とを使い分けて施工を実施した。落下物等を確実に防止するため、二重の板張り+シート養生の仮設吊り足場とし、鉄道架線に近接するため非金属単管等絶縁材料を使用した。設置済みの足場から前方に足場を手延べで張り出していくことにより、軌道内の作業を伴わずに、上空のみの作業を基本として足場の設置を実施した(**図-29**)。

②については、裏面吸音板設置後、設置された桁の上を走行する縦取り桁重量によるたわみや、壁高欄、遮音壁など付帯構造物の死荷重によるたわみ、後行架設する桁のモーメント連結によるたわみ変化などを算出し、これにより裏面吸音板の骨組みに発生しうる応力を算出した。結果、裏面吸音板骨組みが桁のたわみに十分に追従できず、骨組みの発生応力が許容値を超過する箇所がある結果を得た。そこでそれらの箇所については、一時的に裏面吸音板縦梁の添接を間引き、桁のたわみに追従できるようにした(**図-30**)。間引いた添接部については、完成系に至るまでの桁のたわみ変化量の骨組みの安全性への影響が軽微となった段階で添接作業を行うこととした。



図-27 裏面吸音板（設置状況）

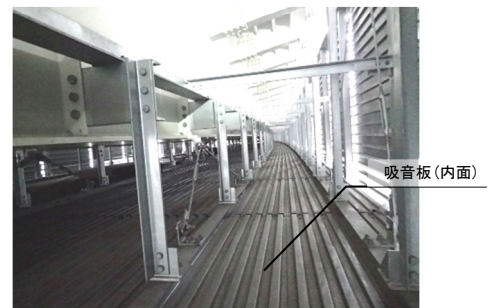


図-28 裏面吸音板（内部状況）



図-29 裏面吸音板吊り足場全景

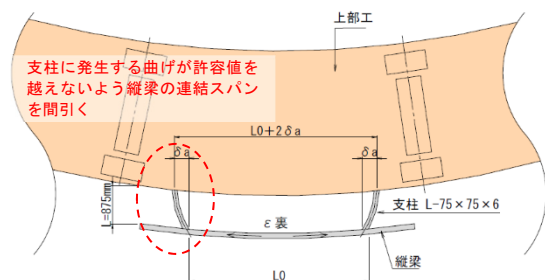


図-30 裏面吸音板骨組み検討概念図

6. 営業線直上における壁高欄・遮音壁の施工

本橋では、桁架設後、鉄道営業線直上および国道 15 号直上で壁高欄の打設・遮音壁の設置を実施した(図-31)。壁高欄は現場打ち鉄筋コンクリート製であり、桁架設後に現場打ち施工する計画となっていた。これらに際して留意した点について以下に述べる。

(1) 壁高欄へのアルミ合金製埋設型枠の採用

一般的な仮設型枠を用いて壁高欄の打設を実施した場合、打設完了後に外型枠の脱型が必要となるが、桁外での作業となるため、線路上への落下物リスクが高い。また桁同士の隙間が狭いため、施工性が悪く、工程の逼迫が懸念された。

そこで、壁高欄の外型枠にアルミ合金製埋設型枠(図-32)を採用し、外型枠の脱型を不要とすることでトラブルリスク低減及び工程短縮を図ることとした。なお、本型枠を採用することにより、コンクリートの破損や剥離等による線路上への破片の落下を予防できる効果もある。

(2) 壁高欄への合成短繊維添加によるひび割れ分散

一般に、鋼床版上に打設するコンクリート製の壁高欄は、乾燥収縮、温度上昇による鋼床版の伸び（日照による変化、舗装施工時の影響など）、鋼桁のたわみの変化などに追従できずにひび割れが発生する。このようなひび割れリスクを鑑み、標準仕様では、伸縮目地の設置、ひび割れ誘発目地（V カット）の設置、膨張剤の添加などが規定されている。

本工事では、一般的な橋梁と比べても施工時のたわみ変化が大きいこと、隣接工区と比べてもスパンが長く、供用時のたわみも大きいこと、線路上空のため維持管理作業を軽減する必要があることなどの目的から、合成短繊維（バルチップ PW-Jr）を添加し（0.1%添加）、ひび割れ幅の分散を図った。

(3) 前背面分離型遮音壁の採用

遮音壁は、打設完了後の壁高欄天端に予め設置しておいたアンカーボルトを用いて、鋼製の骨組みで構成された支柱を設置し、遮音板をワイヤー・ボルト等により固定するものである。本工事では鉄道営業線直上であることから、前背面分離型遮音壁を採用した（図-33）。背面板を先行設置することにより、残りの前面板（吸音板）の昼間設置が可能となり、工程短縮の効果があり、また鉄道営業線直上における落下物等のリスク軽減を図ることができた。

7. おわりに

本工事は、鉄道営業線直上、国道 15 号線直上をはじめとする様々な厳しい制約条件下での工事であったが、計画段階から諸々の対策を実施することにより、全工期無事故無災害にて、所定の工期内に施工を完了することができた。本工事で得られた知見が今後の同種工事の参考になれば幸いである。最後に本工事に携わった全ての関係者に敬意と感謝の意を表して結びとする。

[参考文献]

- 1) 三浦ほか:鉄道 10 線を跨ぐ曲線桁の施工、橋梁と基礎, vol. 49, No. 12, pp. 5~11, 2015
- 2) 柴田ほか:鉄道営業線に近接するニューマチックケーソン施工方法の改善, 第 70 回年次学術講演会, VI-619, 2015
- 3) 小林ほか:硬質粘性土地盤におけるケーソン沈設方法の改善, 第 49 回地盤工学研究発表会講演集, pp. 1089~1090, 2014



図-31 壁高欄・遮音壁全景



図-32 アルミ合金製埋設型枠

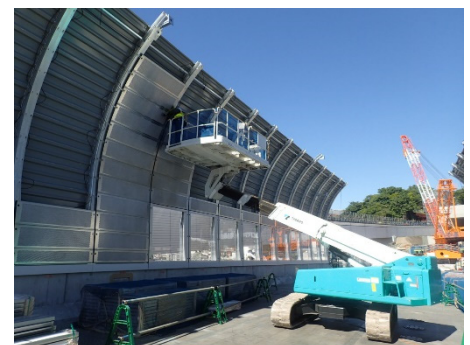


図-33 前背面分離型遮音壁