

整備新幹線における馬桁一体PC連続桁について

(独) 鉄道・運輸機構 正会員 ○下津 達也
 (独) 鉄道・運輸機構 正会員 玉井 真一
 (独) 鉄道・運輸機構 跡部 拓己

1. はじめに

1.1 馬桁一体PC連続桁の必要性

現在、北海道、北陸、九州など全国で整備新幹線の建設が進んでいる。整備新幹線の建設に当りその平面線形については高速性を確保する観点から、駅部などの特殊な区間を除き曲線半径を4000m以上としている。そのため、河川、在来線鉄道、道水路と斜角で交差せざるを得ない場合が多く生じるが、それらの多くは既に供用開始されているため、付け替えることが困難な場合が多い。したがって、交差箇所の構造形式の選定が肝要である。まず、斜角桁にすることが考えられるが斜角桁は列車通過時にねじれが生じ、乗り心地が悪いことやスラブ軌道に適さないこと、耐震性が悪いことなどから現在は新幹線では使用していない。そこで、直橋とするが単純桁にすると桁長が長いと桁高が高くなる。新幹線の場合、縦断線形においても基本的に1000分の15までの勾配としなければならないため、縦断のコントロールポイントである道路上の桁高が高くなると、橋りょう前後の広範囲に渡り縦断線形が高くなってしまい、建設費の増大につながる。そこで、連続桁とするために交差箇所に中間支点を設ける方法として門形橋脚方式（写真－1）や馬桁方式（一体型）（写真－2）などを採用している。本稿では馬桁一体方式を中心に記述する。



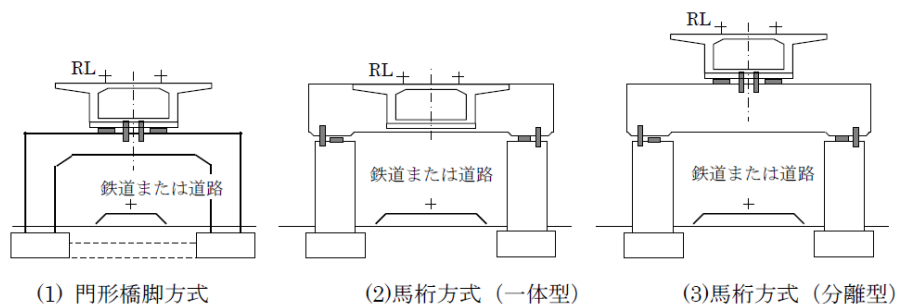
写真－1 門形橋脚方式



写真－2 馬桁方式（一体型）

1.2 構造概要について

門形橋脚などを用いて道路を跨ぎ連続桁の中間支点とする構造は主に3タイプある（図－1）。一つ目は上記した門形橋脚形式である。二つ目は道路等を跨ぐ馬桁を設置し、これを中間橋脚として主桁を一体化す



図－1 各構造形式の概略図

る馬桁方式（一体型）。三つ目は馬桁と主桁を分離させる馬桁方式（分離型）である。これらのうち主桁と馬桁を一体化した馬桁方式（一体型）は最も構造高が低く、建設費の削減にも有効である。なお、整備新幹線では馬桁方式（分離型）はシュー、ストッパーが増えてしまうので走行安全性や維持管理の点から出来る限り避けるようにしている。また、これらの構造形式については馬桁及び主桁を鋼構造にすることも可能であるため施工条件に合わせてPC桁または鋼桁（合成桁）が選択される。

1.3 馬桁一体PC連続桁の歴史

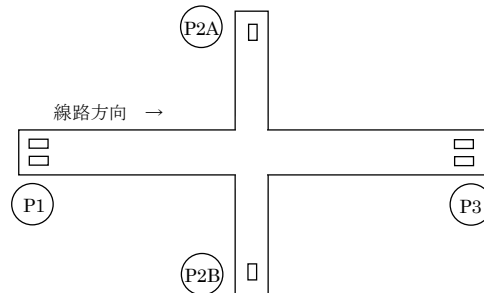
鉄道においては鋼製の門型橋脚方式が1922年に架設された淀橋跨線路橋や1932年に架設された総武本線神田川橋りょうなど戦前から架設されている。戦後では昭和54年完成の東北新幹線第二孫屋敷架道橋（馬桁一体4径間連続PC箱桁L=28m+28m+28m+28m）や平成元年完成の北総線都計道3.4.20架道橋（馬桁一体2径間連続合成箱桁L=40m+40m）などにおいて実績がある。二橋とも幹線道路を斜角で渡り厳しい桁高制限のある箇所架設された。最近では建設中の北陸新幹線（長野・金沢間）において10橋以上が施工されている¹⁾。

2. 馬桁一体PC連続桁の設計法

馬桁一体連続桁の設計では支承部が主桁部と馬桁部にそれぞれあるため、固定・可動などの配置が肝要となる。また、平面的に十字となるため、通常の連続桁と同様に断面力を算定するか検討する必要がある。

2.1 支承部の配置

馬桁一体桁において二径間連続桁の場合は、馬桁で2箇所、主桁で2箇所の合計4箇所の支承がある。支承部の配置を図-2に示す。主桁長が短い場合は主桁の支承部は線路方向を片側可動、片側固定とし、直角方向は固定としている。一方で馬桁は線路方向・直角方向に可動としている。これは線路外の飛び地になる馬桁の橋脚をなるべく小さくするためである。しかし、主桁長が長い場合、主桁の線路方向を両側可動とし、直角方向を固定としている。馬桁については線路方向を両側固定、直角方向は両側可動とする。これは桁長が短ければ桁の伸縮も大きくならず、主桁のゴムシューの変形量が



ストッパー	方向	P1	P2A・P2B	P3	備考
一般①	線路方向	可動	固定	可動	P1-P3間が長い場合
	直角方向	固定	可動	固定	
一般②	線路方向	固定	可動	可動	P1-P3間が短い場合
	直角方向	固定	可動	固定	
ダンパー式	線路方向	ダンパー可動	固定	ダンパー可動	常時
	直角方向	固定	ダンパー可動	固定	
	線路方向	ダンパー固定	固定	ダンパー固定	【参考】地震時の挙動
	直角方向	固定	ダンパー固定	固定	
略図				網掛けはオイルを表す	

図-2 馬桁一体方式における支承の配置

が制限値内に収まるが、桁長が大きくなると桁の伸縮が大きくなりゴムシューの変形が大きくなるため、主桁を可動、馬桁上を固定とし、ゴムシューの変形量を小さくするためである。また、さらに主桁長が長い場合は主桁の両端はダンパー式ストッパーとしている。ダンパー式は常時においては変位等を拘束することなくある程度の自由な変位を許す可動として機能するが、地震時には固定として機能するストッパーである。桁長が長いと地震時の水平力が大きくなるため、ダンパー式ストッパーを採用することで片方の橋脚に荷重が集中するのを防いでいる。馬桁の両端は、線路方向に固定とし、線路直角方向は馬桁の温度による収縮など考慮し可動としている。なお、主桁がダンパー式の場合は馬桁についてもダンパー式としている。

2.2 主桁・馬桁の断面力の算定

馬桁一体の構造解析を行うに当たり、従来から馬桁上の支点をバネとして通常の梁と同様に断面力を計算していた。しかし、馬桁が長くなったり、馬桁のスパン割りが左右で異なる場合は、十字型の格子解析が必要である。ただし、十字型の格子解析が困難な場合については通常の連続桁の設計と同様に一本の棒部材として断面力を算定してよいものとしているが、中間支点となる馬桁の剛性を設計上どのように扱うか検討する必要がある。例えば、馬桁の剛性を過大評価すれば主桁に生じる負曲げが実際より大きくなる一方で中間部の正曲げが小さくなる可能性がある。中間支点の剛性は、基礎の鉛直バネ、橋脚の弾性短縮、馬桁の曲げ剛性を統合した支点バネとして解析してよいことにしている。ただし、このバネ値は過少な計算結果が出てしまうため、主桁の馬桁上の負曲げが実際より小さくなる可能性がある。そのためこのバネ値を二倍した場合についても設計することとしている。以上により、連続桁の汎用設計プログラムも使用できるよう配慮している。さらに、主桁もしくは馬桁のスパンが大きい場合には馬桁と主桁の死荷重を支える1次緊張とその後の列車荷重などを支える2次緊張にわけて緊張することで緊張力によるひび割れの発生などを防ぐなど、馬桁の設計を容易に出来る場合があるためそのような検討も行っている。

3. 馬桁一体PC連続桁の施工について²⁾

3.1 温度ひび割れ対策

馬桁一体PC連続桁の馬桁は中間支点との剛性を確保するため断面寸法が大きくなる。その結果、馬桁がマスコンクリートとなり、温度ひび割れ対策が課題となる。ここでは、北陸新幹線金剣架道橋の事例を紹介する。本橋では、馬桁の断面寸法が4.0m×4.1m、延長27.5m、体積485m³のマスコンクリートとなった(図-3)。温度ひび割れを解析した結果ひび割れが発生する可能性が高いため、2つのコンクリート温度ひび割れ対策を実施した。まず、1点目はコンクリートの内外の温度差を極力防ぎ内部拘束ひび割れを抑制するために断熱性の高い養生方法を行った(図-4)。桁上面を防災シートで覆い、桁側面及び下面は発泡スチロールで覆うことにより外気を遮断しコンクリート表面の温度の低下を防ぐこととした。2点目は馬桁の早期緊張である。マスコンクリートの場合、内外のコンクリートの温度差に伴い引張力が発生する。そのため、プレストレスによる圧縮力が有効に作用すると考えられ、馬桁コンクリート打設後、早期に馬桁ケーブルを緊張することで、温度ひび割れの進行を防ぐ。以上の2点を前提条件とした温度ひび割れ解析を行い、耐久性から定まる制限値以上のひび割れが発生する箇所については補強鉄筋を配置することとした。しかし、馬桁の早期に緊張するに当たり、緊張順序を検討する必要があった。

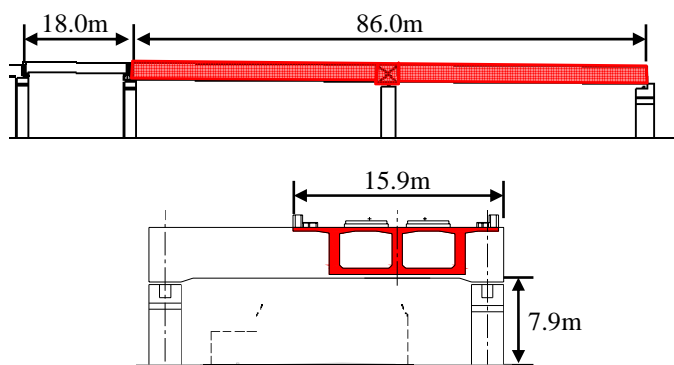


図-3 金剣架道橋の一般図

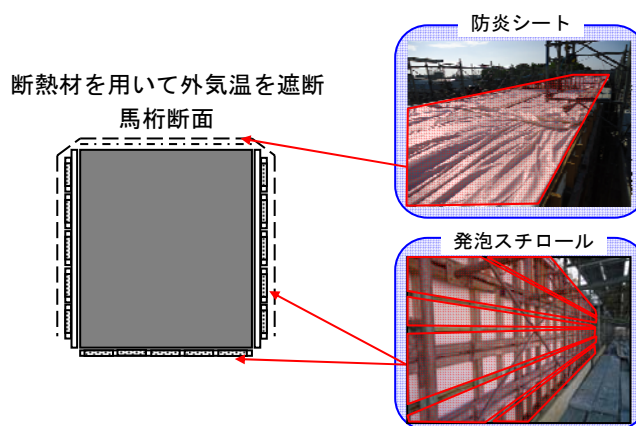


図-4 馬桁の養生方法

3.2 馬桁の緊張順序について

温度ひび割れ対策のため、馬桁を早期緊張すると、主桁の荷重がかかる前であるため、プレストレスを設計どおり入れると馬桁の応力が大きくなり制限値を超えてしまう。一方で、緊張力が小さすぎてもひび割れ対策として効果が少なくなってしまうので、応力度の照査を行い、制限値内で出来る限りの緊張力を導入することにした。以上を踏まえた施工順序を図-6に示す。まず、馬桁のコンクリートを打設し、温度ひび割れ防止を目的とした馬桁の一次緊張を行う。その後、主桁コンクリートを打設し、馬桁の2次緊張を行った後、箱桁の1次緊張を行う。馬桁の2次緊張を主桁の1次緊張より先に行うのは、馬桁は主桁にくらべ支間長が短く、主桁への影響が少ないが、主桁を先に緊張すると、緊張が完了していない馬桁に主桁の反力がかかり影響が大きいためである。主桁の1次緊張後、支保工を一部解体して主桁の2次緊張を行う。最後に支保工を全解体後、馬桁の3次緊張を行う。馬桁及び主桁の緊張については各々が全て緊張されて応力が設計限界値内に納まるように設計されており、いずれかの緊張力が不十分な状態で全部緊張すると応力の制限値を越えてしまう。そのため、制限値内に納まるように支保工の解体や緊張の順序を考慮する必要がある本橋における主桁及び馬桁のケーブル配置及び緊張順序を図-7、8に示す。

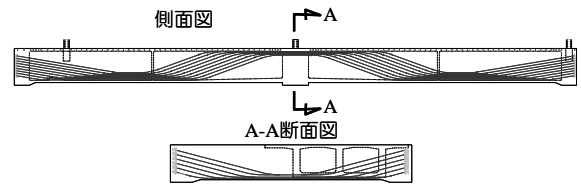


図-5 主桁ケーブル配置 (主桁：上) (馬桁：下)

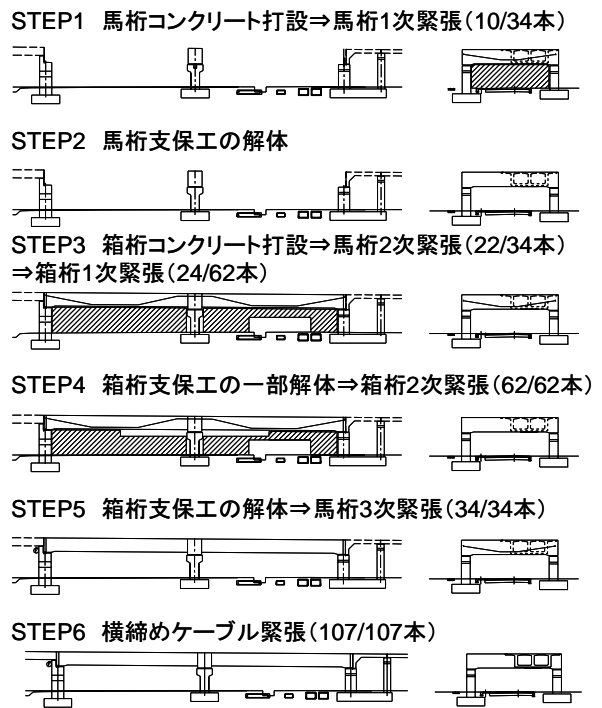


図-6 施工順序

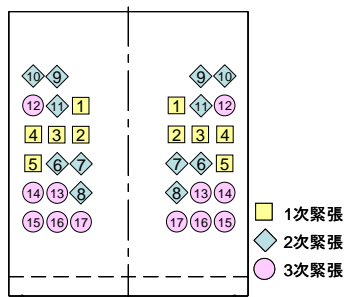


図-7 馬桁ケーブル緊張順序

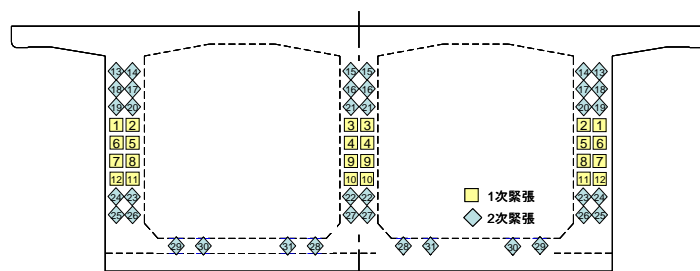


図-8 主桁のケーブル緊張順序

4. おわりに

本稿では整備新幹線における馬桁一体PC連続桁の設計及び施工について記述した。このような構造については整備新幹線の特性上避ける事ができない構造であり、今後も多く採用されることが想定される。既往の設計や施工のデータを蓄積し、よりよい品質、より安く作る事ができるように図っていくことが重要と考えられる。

参考文献

- 1) 玉井真一：北陸新幹線、北海道新幹線のPC橋、プレストレストコンクリート 2012年 No. 2
- 2) 跡部拓己：馬桁一体PC箱桁の設計・施工、日本鉄道施設協会誌 2011年 11月