

第6回 プレキャスト PC 床版の設計

講師：河村 直彦*1・佐藤 徹*2・諸橋 明*3

1. はじめに

第6回の講座では、プレキャスト PC 床版の設計について述べることにしますが、紙面の都合から概略のみにとどめます。(公社)プレストレストコンクリート工学会では種々の要領など^{1,2)}をまとめているので、詳細はそちらを参照してください。

2. プレキャスト PC 床版の設計の基本

2.1 床版取替えの設計フロー

鋼道路橋のプレキャスト PC 床版による床版取替えの設計では、おおよそ以下の流れとなります。

- 1) プレキャスト PC 床版の割付け
- 2) 橋軸直角方向の設計
- 3) 橋軸方向および接合部の設計
- 4) 場所打ち部の設計
- 5) 橋面工の設計

プレキャスト PC 床版は、設計での自由度が高くなりますので、設計技術者の判断が耐久性や施工性に影響を及ぼすことになります。

2.2 限界状態の設定と照査指標

プレキャスト PC 床版の設計では、とくに疲労限界状態および塩害への耐久性における配慮が重要となります。疲

表 - 1 疲労限界状態に対する照査指標

設計対象	照査指標	判断基準
橋軸直角方向	床版の引張応力度 (PC 構造)	ひび割れが発生しない
橋軸方向	鉄筋の引張応力度 (RC 構造の場合)	制限値以下
	床版の引張応力度 (PC 構造の場合)	ひび割れが発生しない または引張応力度が発生しない

表 - 2 塩害に対する耐久性向上の方策

分類	検討対象	耐久性向上の方策
材料	コンクリート	混和材の使用
	鉄筋・PC 鋼材	樹脂塗装材料の使用
構造細目	かぶり	かぶりの確保
橋面工	表面処理	防水工
	排水処理	適正な排水処理

労限界状態に対する照査指標を表 - 1、塩害への耐久性向上に対する方策を表 - 2 に示します。

2.3 材 料

プレキャスト PC 床版は、一般に PC 工場で製作されることから、一般的な PC 部材と同等の材料を使用しますが、海岸線付近や凍結防止剤が使用される寒冷地では、塩害対策に有効な材料を使用します。塩害対策の材料としては、セメントに高炉スラグ微粉末を混入したもの、エポキシ樹脂などを塗装した鉄筋や PC 鋼材があります。

特殊な事例として、アルカリ骨材反応対策としてフライアッシュを混合材として用いたものや床版重量をできるだけ低減させるために超高強度繊維補強コンクリートを用いたものがあります。

2.4 作 用

プレキャスト PC 床版の設計でクリティカルとなる作用は、輪荷重と塩化物イオンの浸透です。

輪荷重については、基本的に道路橋示方書に示される荷重を用いますが、重交通区間では調査を行って作用修正係数(たとえば文献2)の pp.22-24)を定める必要があります。

塩化物イオンについては、飛来塩分によるものと凍結防止剤によるものがあります。これらの塩化物イオン量は事前に調査を行って表面の塩化物イオン濃度を設定することとなります。

3. プレキャスト PC 床版の割付け

3.1 割付けの基本

プレキャスト PC 床版の割付けは、運搬や揚重の制約を考慮したうえでできるだけ統一した形状となるように決定します。既往の事例では床版幅は 2.0 m とすることが多いようです。また、できるだけ場所打ち部が少なくなるように割り付けることも重要です。

プレキャスト PC 床版は主桁軸線に対して直角方向に配置することを基本としますが、線形条件によっては次節で述べるように直角方向ではない事例もあります。

3.2 特殊な条件に対する割付け

線形条件によっては、プレキャスト PC 床版の割付けを主桁軸線に直角方向に配置しづらい橋梁もあります。ここ

*1 Naohiko KAWAMURA：(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会 技術部会

*2 Toru SATO：(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会 技術部会

*3 Akira MOROHASHI：(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会 技術部会

では曲線橋と斜橋の場合の対処方法を述べます。

(1) 曲線橋の場合

曲線橋の場合、平面半径が大きい場合は場所打ち部で調整し、平面半径が小さい場合はプレキャスト PC 床版を台形形で製作する方法があります (図 - 1)。

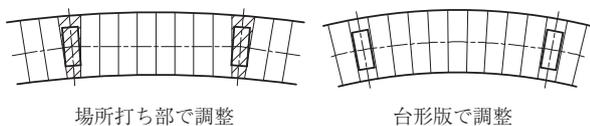


図 - 1 曲線橋での割付け方法

(2) 斜橋の場合

斜橋の場合、プレキャスト PC 床版を主桁軸線に直角方向に配置して端部で調整する方法、プレキャスト PC 床版を斜版として製作する方法があります (図 - 2)。

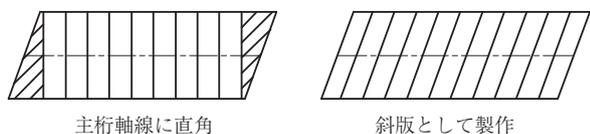


図 - 2 斜橋での割付け方法

4. プレキャスト床版の橋軸直角方向の設計

4.1 プレキャスト床版の形状

(1) プレキャスト PC 床版の床版厚

更新用プレキャスト PC 床版の床版厚は、死荷重増に伴う既設の上部構造、支承構造、下部・基礎構造への影響を配慮し、極力増加しないように計画する必要があります。また、一般に橋梁前後の線形条件の変更は困難であることから床版厚を厚くすることができず、通常の新設橋のように耐久性を確保するためにかぶりを厚くすることも困難です。その一方、床版厚が薄い場合は、疲労耐久性などの低下に繋がることから、床版厚をむやみに薄くすることは避けるべきです。そのため、床版更新工事であってもプレキャスト PC 床版の最小全厚は、「道路橋示方書 (以降「道示」と記す) Ⅱ編³⁾ 11.2.4」にしたがって算出します。

床版厚は、最小全厚以外にも耐荷性能、耐久性能 (疲労、腐食) により設定し、さらに 4.1 に示す接合構造によっても床版厚が決まることに留意する必要があります。

(2) ハンチ形状

床版のハンチの傾斜は、図 - 3 に示すように「道示Ⅱ編 11.2.12³⁾」にしたがい 1:3 より緩やかにします。1:3

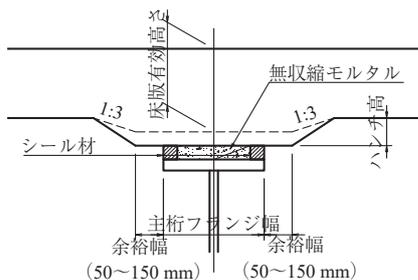


図 - 3 ハンチ部の床版の有効厚さ

よりきつい場合は、1:3 までの厚さを床版有効断面とみなします。

ハンチ下面の水平区間は、施工誤差、線形への対応、間詰め部型枠の固定および主桁添接部のシール材支持用フランジの設置などを考慮して、50 ~ 150 mm 程度の余裕をとるのがよいとされています。また、ハンチ下の無収縮モルタルの高さは 30 mm 程度を標準としますが、鋼桁のキャンパー量との調整や添接板の影響も考慮して設定します。

4.2 プレキャスト PC 床版の設計

(1) 支持条件

「道示Ⅱ編 11.2.3」に示すように死荷重による設計曲げモーメントは支持桁の拘束条件を考慮して算出します。具体的な算出方法として、主桁の拘束条件を回転バネなどで適切にモデル化して算出する方法 (図 - 4) や、支持点の回転を拘束する場合と拘束しない場合 (図 - 5) とを比較し、大きい値を用いる設計方法があります。

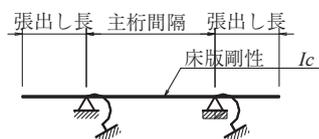


図 - 4 回転ばねモデル¹⁾

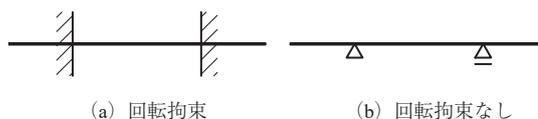


図 - 5 連続ばりモデル¹⁾

(2) 断面性能

プレキャスト PC 床版の応力度の算出は、PC 構造であるプレキャスト部材と、RC 構造である接合部から構成されることから、荷重作用状態に応じて抵抗する断面性能を適切に設定する必要があります。また、プレキャスト PC 床版に複数設置されるジベル孔や主桁添接部近傍でハンチ下面を切欠く場合などでは、断面性能に及ぼす影響が大きいため、断面欠損を考慮して応力度を算定します。

(3) 制限値

橋軸直角方向 (床版支間方向) の部材の設計は、表 - 3 に示す限界値を満足するように設定します。

表 - 3 橋軸直角方向 (床版支間方向) の限界値¹⁾

床版構造	作用状態	限界値
PC 構造	永久作用時 (死荷重作用時)	引張応力発生限界 (フルプレストレス)
	永久 + 変動作用時 (設計荷重作用時)	ひび割れ発生限界 (曲げひび割れ強度)
	偶発作用 (衝突および風荷重作用時)	ひび割れ幅制御 (ひび割れ幅の限界値)

5. プレキャスト床版の橋軸方向の設計

5.1 橋軸方向の接合方法

プレキャスト PC 床版は、トレーラーによる運搬が可能となるように橋軸方向に 2.0 m 程度の部材幅で製作され、プレ

キャスト PC 床版同士は RC 構造や PC 構造で接合されます。一般的に用いられている接合方法を表 - 4 に示します。

表 - 4 プレキャスト PC 床版の橋軸方向の接合方法¹⁾

構造	①：あご付きのループ継手	②：あごなしループ継手
概要図		
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・JIS化されており、新設橋で一般的に使用されている。 ・型枠の設置が不要で、施工性に優れる。 ・RC構造であり、床版の部分取替えが可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ・あご付きに比べ床版厚の低減が可能。 ・更新床版で実績が多い。 ・型枠の設置が必要。 ・RC構造であり、床版の部分取替えが可能。
床版厚	240 mm以上	220 mm以上
構造	③：機械式定着併用重ね継手	④：モルタル目地PC接合
概要図		
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・ループ継手に比べ床版厚の低減が可能。 ・更新床版で実績が多い。 ・架設や配置が比較的容易。 ・型枠の設置が必要。 ・RC構造であり、床版の部分取替えが可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ・床版厚を薄くできる。 ・接合部はPC構造とし引張応力度を発生させない。 ・型枠の設置が不要。 ・緊張・グラウト作業が必要。 ・PC鋼材で一体化しているため床版の部分取替え不可。
床版厚	170 mm以上	160 mm以上

これらの接合方法を採用するにあたり注意すべき点は、接合構造により最小床版厚の設定や施工性が異なること、そして将来的な維持管理も含め、PC 構造とするか、RC 構造とするか、部分取替えを可能とするかなど、おのおのの特徴を把握し、与えられた条件下で接合構造を選定することです。なお、③の接合については、代表的な接合構造をこの表に示しましたが、近年、各種の鉄筋継ぎ手技術を用いた新たな接合構造も開発されています。

5.2 橋軸方向の設計

(1) 接合部の設計

橋軸方向の接合は、RC ループ継手構造が多く用いられています。詳細については「NEXCO 設計要領第二集 [橋梁保全編]⁴⁾ 5章 4-8」を参照願います。

(2) 制限値

橋軸方向（床版支間直角方向）の部材の設計は、表 - 5 に示す限界値を満足するように設定します。

表 - 5 橋軸方向（床版支間直角方向）の限界値¹⁾

床版構造	作用状態	限界値
RC 構造	変動作用時 (設計荷重作用時)	鉄筋およびコンクリート応力度の限界値
	永久作用時 (死荷重作用時)	
モルタル 接合 PC 構造	永久 + 変動作用時 (設計荷重作用時)	引張応力発生限界 (フルプレストレス)
	永久作用時 (死荷重作用時)	

(3) 連続桁中間支点上の設計

連続桁の中間支点上では、床版施工後の後死荷重と活荷重による主桁作用によって、上縁に引張力が発生します。そのため、非合成桁であっても連続桁の主桁作用（床版部が引張力の一部を負担する作用）を考慮して床版の橋軸方向の設計を行う必要があります。

6. 場所打ち部の設計

6.1 場所打ち部の床版の設計

線形条件によっては、曲線橋の中間支点部や斜橋の桁端部に場所打ち部を設けて対応せざるを得ないことがあります（図 - 1, 2）。この場合においても床版の設計は、橋軸直角方向、橋軸方向ともプレキャスト PC 床版部と同様にを行います。

橋軸直角方向については、床版横締め PC 鋼材を配置しますが、現場でプレストレスを導入するためポストテンション方式を採用することになります。この場合、スタッドにより主桁コンクリートと一体化していると、プレストレスがスタッドを介して主桁や横桁に拘束されるため、プレストレス導入時の弾性変形を拘束しないように開口部を設け後打ち部とするなどの対処が必要です（図 - 6）。しかしながら合成桁の支点部では、配置されるスタッド本数が多く、開口部を設けることが困難なため、プレストレス力の算出において、主桁の拘束の影響を考慮できる図 - 5 (a)の骨組モデルを用いるなどの配慮が必要となります。

なお、ポストテンション方式の床版横締め PC 鋼材には、プレグラウトタイプが多く用いられています。

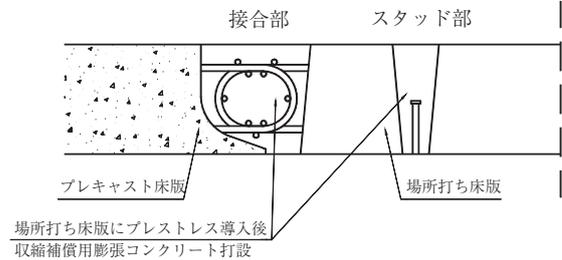


図 - 6 開口部を設け後打ち部とする事例¹⁾

6.2 桁端部の構造

桁端部は、通常伸縮装置が設けられ、その付近の不陸などによって自動車荷重による大きな衝撃が床版に作用しやすい環境となります。このため、桁端部の車道部分の床版は他の部分の床版に比べて損傷しやすく、十分な剛度を有する端横桁、端対傾構、端ブラケットで支持するのが望ましい構造となります（写真 - 1）。



写真 - 1 端対傾構および端ブラケットの事例

桁端部の中間支間の床版を端横桁などで支持しない場合の桁端部から床版支間の 1/2 の間の床版および桁端部の片持ち部の床版を端ブラケットで支持しない場合の桁端部から床版支間長の間の床版については、T 荷重による設計曲げモーメントとして「道示Ⅱ編 11.2.3」に規定する値の 2 倍を用います。

7. プレキャスト床版と鋼桁との接合部の設計

7.1 非合成桁におけるずれ止めの設計

非合成桁のずれ止めは、頭付きスタッドを用いるのを標準とし、橋軸方向に 1 m 程度の間隔で配置します。

非合成桁は、主桁作用によるずれ止めの水平せん断力は考慮しませんので、ずれ止め必要量の算定についての明確な規定はありません。

これまでの実績では、水平力の抵抗範囲を端支点部では 3 m、中間支点部で 5 m とし、その抵抗範囲の 2 倍の区間(端支点部 6 m、中間支点部 10 m)の横水平せん断力(主桁を除く死荷重×設計水平震度)を受けもつものとしてずれ止めを設計した事例や、横水平荷重について地震荷重(主桁を除く死荷重×設計水平震度)と風荷重(地覆部、壁高欄部、遮音壁部などの主桁を除く側面積×風荷重)をフレームモデルに載荷し、影響範囲を考慮してずれ止めを設計した事例がありますが、いずれもスタッド孔 1 か所あたり 2 本程度の配置量となっています。

7.2 合成桁におけるずれ止めの設計

合成桁においてもずれ止めは頭付きスタッドを標準とします。スタッドの必要量は、接合部に作用する水平せん断力に対して算出します。

水平せん断力は、床版コンクリートの乾燥収縮、床版コンクリートと鋼桁の温度差により生じるせん断力について、床版の自由端部において主桁間隔の範囲に設けるずれ止め負担するものとします。この際、図 - 7 に示すように、せん断力のすべてが支点上で最大となる三角形に分布するものとして算出します。

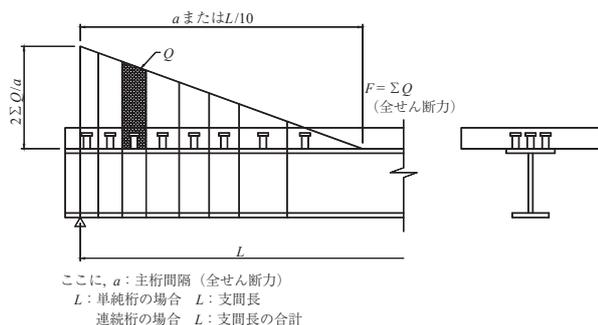


図 - 7 せん断力の分布²⁾

供用限界状態のスタッドの設計せん断耐力についてはいくつかの算定式がありますが、「NEXCO 設計要領第二集 [橋梁建設編]⁵⁾ 7 章 4-8-5」に規定される事例を式(1)に示します。

$$Q_a = 12.0 \cdot d^2 \cdot \sqrt{\sigma_{ck}} \quad (1)$$

ここに、 Q_a : 供用限界状態の設計せん断耐力 (N)

d : スタッドの軸径 (mm)

σ_{ck} : 床版コンクリートの設計基準強度 (N/mm²)

合成桁は非合成桁に比べずれ止め量が多くなります。合成桁にスタッドのグループ配置を適用しても耐力にほとんど影響を及ぼさず合成効果も十分であること、通常スタッド配置の合成桁とほぼ同等の力学特性があることが既往の試験・研究から明らかになっていることから、プレキャスト PC 床版のジベル孔に配置するスタッドはグループ配置とし、必要に応じて 2 列配置とします。

参考として、支間約 70 m の鋼連続合成桁橋を対象に物理的に可能なスタッドの配置を検討した事例を図 - 8 に示します。

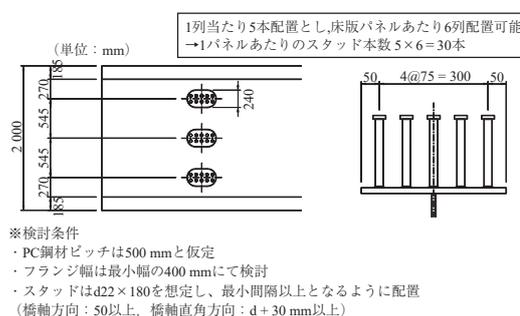


図 - 8 スタッドの最大配置検討例²⁾

8. おわりに

床版取替え工事は制約された時間や条件のもとで施工する必要があります。いかに現場作業を低減できるかが課題となります。また、床版取替え工事の設計は、新設工事と異なり「すでにある鋼桁に合わせる」必要があります。単に既設橋梁の図面に合わせるだけでなく、現場を確認して床版を製作することも必要になります。

床版取替え工事では、今回の講座の内容ばかりでなく鋼桁や支承・排水などの橋梁付属物についても配慮が必要であり、幅広い知識が要求されます。つねに最新の情報を学習するように心がけるようにしてください。

参考文献

- 1) (公社) プレストレストコンクリート工学会: プレキャスト PC 床版による道路橋更新設計施工要領, 2018.3
- 2) (公社) プレストレストコンクリート工学会: 更新用プレキャスト PC 床版技術指針, 2016.3
- 3) (公社) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋・鋼部材編, 2017.11
- 4) 東日本高速道路(株)・中日本高速道路(株)・西日本高速道路(株): 設計要領第二集 [橋梁保全編], 2020.7
- 5) 東日本高速道路(株)・中日本高速道路(株)・西日本高速道路(株): 設計要領第二集 [橋梁建設編], 2016.8

【2020年11月2日受付】