

## 第 2 章 課題への対応と設計・施工における配慮事項

RC 床版更新は、供用中の橋梁で行われるために交通規制や作業時間帯などの様々な条件と制約の中で行われる。また、建設当時の良好な施工環境が整わない場合があり、使用できる設備や重機が限定される。さらに、RC 床版の取替事由として劣化と損傷が挙げられるが、その要因は車両の繰り返し载荷による疲労損傷のほかに飛来塩分や凍結防止剤の散布などであり、取替後に同じ要因による劣化と損傷が再び生じることのないように対応が求められる。一方、このような環境におかれた橋梁は、鋼材に疲労損傷や腐食が進行している可能性があり、主桁などの補修・補強が床版取替と同時に必要となる場合がある。また、床版取替に伴う死荷重の増加により主桁や補剛材などが設計条件を満足しないことや設計図書と現物が整合せず補強が必要になる場合がある。さらに、合成桁の RC 床版更新は、RC 床版の撤去架設時に橋梁の安定性が失われる可能性があり、安全を確保するために設計・施工のそれぞれの段階で様々な検討が必要となる。このように 1970 年代に設計・施工された橋梁の床版更新は、新たな床版構造の耐久性の確保をはじめとして上部工の設計・施工まで広く多くの問題や課題を抱えている。

RC 床版更新にあたっては、更新床版の耐久性確保、更新後の主桁などの設計照査、既設 RC 床版と鋼主桁との接合など広く多くの技術的課題に対応するとともに、設計実務においては図 2.1.1 に示すように、1) 地理的・地形的な条件、2) 沿道・周辺環境、3) 交通状況・交通規制、4) 工程・作業時間帯、5) 設計条件との整合、6) 床版形式、7) 安全の確保など、多くの制約や条件を考慮して総合的に「最も適切な構造・工法」を決定する必要がある。つまり、単純に施工費が安価ということで構造・工法を決定するのではなく、RC 床版の更新が必要になった原因を考え、同じことが繰り返されないように対策を施し、施工時の社会的な影響や安全性を考慮したうえで構造・工法を選定する必要がある。

第 2 章は、RC 床版更新において「最も適切な構造・工法」を選定するために、床版と上部工の設計・施工における問題と課題を示すとともにその対応について、今後、増加が見込まれる合成桁への対応を含め設計・施工の進め方を解説する。

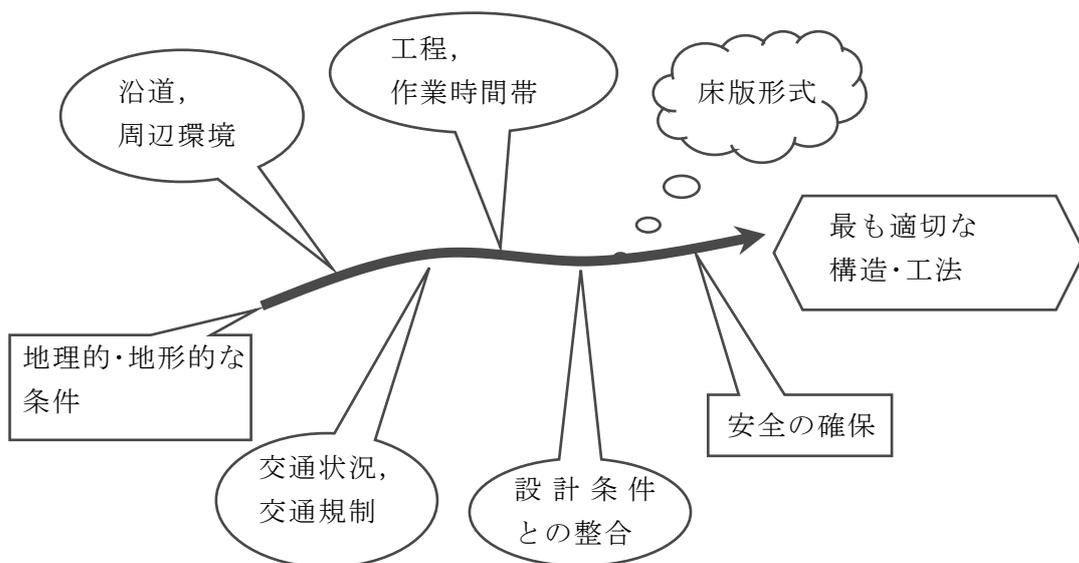


図 2.1.1 更新床版の構造・工法を決める要素

## 2.1 RC床版更新に関する問題・課題

### 2.1.1 RC床版の劣化因子

RC床版における劣化損傷要因は、1.4節で述べてきた通り、過積載を含む重量車両の繰り返しによる疲労、飛来塩分量の多い海岸部や凍結散布地域の塩害、寒冷地における凍害、反応性骨材を使用した床版のアルカリシリカ反応、二酸化炭素の作用による炭酸化反応によるコンクリートのpHの低下により鉄筋を腐食させる中性化やそれらの要因が複合したものである。床版に発生する劣化損傷の促進を防止するためには、コンクリート内部へ浸入する水の制御が最大の課題といえる。我が国の道路橋のRC床版の設計規定は、1.2節で述べてきた通り、順次改定されてきているが、RC床版を取り替えるにあたり床版の長寿命化を目指して、損傷原因となった因子を排除する方策を設計段階で考えておくことが必要である。

気象条件、環境条件や管理方法などの改善が見込めない外的劣化要因に対しては、更新する床版に使用する材料等により対策を施すのも一つの手である。

いずれの対策も、更新する床版で対応することが基本であるが、床版の耐久性を確保するためには、「床版、防水層、舗装」の三位一体で防水機能を持たせること、さらに排水システムも加えて床版防水システムとして設計・施工を行うことが重要である。

### 2.1.2 施工条件と制約

RC床版を有する道路橋の更新工事では、図2.1.1に示したようにさまざまな条件と制約の中で、最も適切な構造・工法を選定していかなければならない。床版を取り替えることで既設橋脚や基礎の耐震性能に問題が生じることが判明し、床版形式や施工方法の選定に立ち返り、検討をはじめからやり直すということは良くある話である。架設条件や交通規制などの施工条件により床版形式が決定することも多くある。さらに、平面形状、桁下の状態、交通状況、沿道・周辺環境、工程・作業時間、地理・地形的条件などにより、床版形式や橋梁形式が決定する場合もある。

#### (1) 縦断の擦り付け

床版の取り替えにあたり、前後道路の地盤沈下の影響や上空の構造物による建築限界により、更新する床版面の縦断線形がコントロールされる場合がある。床版形式の決定に影響することがあるため、隣接する橋梁部や土工部の路面高さは、実測などにより十分に調査し、どのように擦り付けるかを検討しておくが良い。床版補強でオーバーレイが施工されている場合や都市高速のように高架橋が連続して、路面高さを変更するのが困難な場合もある。更新する床版として既存と同形式のRC床版を選択する場合は、床版厚が厚くなるばかりでなく、調整量によっては支承の取り替えが必要となるので、修正路面高さについては細心の注意が必要である。

#### (2) 平面形状

斜角、曲線、バチなど特殊な平面形状を有する橋梁のRC床版更新は、プレキャストタイプの床版を用いる場合、曲率半径の小さい区間や端部のパネル配置が難しくなる。標準パネルが適用できない場所に特殊型枠あるいは端部処理を行えば割高になることがあり、プレキャストPC床版を適用できない場合があるため、設計段階で十分な配慮が必要となる。

#### (3) 桁下の状況

橋梁という特性から、現場が道路、鉄道、河川などと交差していることがある。一般的には

桁下の利用を阻害することなく工事を行うこととなるため、非合成桁で標準的な構造だとしても施工計画には工夫が必要となる。また、既設橋梁が死活荷重合成桁の場合は支保工などが必要となることもあり、その場合はさらに工夫が必要である。

桁下が鉄道の場合は、き電停止あるいは線路閉鎖後の短い時間帯で施工を行わなければならない。また、鉄道事業者への施工委託となる場合がある。道路の場合は、交通規制の方法で制約が生じる。河川では、支保工などにより河積阻害が生じる場合は非出水期の施工となる。このように桁下が利用されている場合は、検討の早い段階で関係機関との協議を行い、施工条件等を確認する必要がある。

#### (4) 交通状況

RC床版更新は大規模工事であり、資機材の搬入、重機配置や作業空間の確保のために、当該橋梁のみならず路下の街路交通の通行止めや交通規制が必要となる。通行止めや交通規制は社会的影響が大きく、RC床版更新の形式・工法を決定する条件になる場合があることから、工期、現道交通の確保（分割施工による部分交通開放、昼間の交通開放など）など、検討の早い段階で交通管理者等と十分な調整が必要である。

#### (5) 沿道・周辺環境

RC床版更新は既設橋梁上に架設重機や工事用車両を載せて施工するために、架設重機の選定において多くの事項を考慮する必要がある。特に、医療施設、学校施設とともに住宅地に近い箇所においては、騒音、振動に対する苦情により工事が中止となる可能性があるため、架設重機の使用にあたっては、大気汚染、騒音、振動の防止等、現場周辺環境に十分に配慮する必要がある。また、幹線道路、鉄道などと立体交差する箇所の作業においては、吊り足場に設置された板張防護の隙間から交差道路にボルト等が落下する恐れがあるため、確実に落下を防ぐ対策が求められる。

#### (6) 工程・作業時間

RC床版更新においては、交通規制を伴う作業が原則となる。作業を実施する時間によっては現場の周辺環境や住民への影響、交通に与える影響が大きくなる可能性がある。そのため、作業時間に関する制約条件を整理し、その内容に応じた適切な工程を十分に検討する必要がある。

#### (7) 地理・地形的条件

地理的、地形的な条件は架設現場により様々であるが、現場調査を行い、施工するにあたり支障となり得るものについては早急に整理し、所掌する道路管理者や鉄道会社、近隣の自治体と協議する必要がある。

### 2.1.3 主桁の照査

#### (1) 情報不足

RC床版更新の設計を進めるにあたり最初に直面する問題は、竣工図書がないということである。また、図面と出来形が異なることや記録にない補強が施されていることがあるので注意が必要である。1970年以前および1975年前後の竣工図書にはもともと線形図自体がないものがある。構造一般図より縦断勾配、横断勾配、路面高さはわかっても、緩和曲線や大座標がわからないことがある。その場合、道路線形を復元するのに大変な労力を注がなければならない。今

後、新設工事よりも補修・補強工事が増加していくと予想されるなかで、橋梁台帳の整理および電子化が強く望まれる。橋梁台帳には、竣工図書、補修・補強の履歴、診断の記録が一元管理されていることが理想である。竣工図書の図面には、橋梁本体の図面だけでなく、下部工図面、床版補強図、舗装、ガードレール、照明柱、標識柱などの施設関係図面や、電話、通信、ガスなどの添架関係の図面も含まれる。既設床版に対する情報が不足している場合は、その情報を得ることが課題となる。今後、橋梁構造物を保全するうえで、橋梁台帳の作成・管理はますます重要になってくると考えられる。

## (2) 主桁の応力超過

床版取替の対象となる道路橋は、1970年ごろの高度経済成長期に建設されたものが多く、当時の設計活荷重はTL-20である。更新用床版は、軽量で上部工などへの負荷が少なく工期短縮が見込めるプレキャストPC床版や鋼床版を採用することが多い。しかし、既存主桁はB活荷重で照査を行うと応力超過となり不適合となる可能性があり、その場合は対処方法が問題となる。

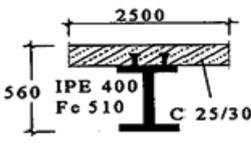
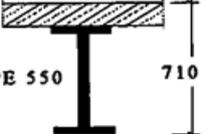
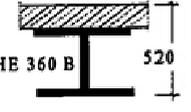
RC床版非合成鈹桁橋の床版をプレキャストPC床版に取り替える場合、まず、現状の状態をモデル化し、TL-20で格子解析による主桁の応力度照査を行う。次に、B活荷重を載荷し、応力度照査を行う。このようにして既設橋梁の部材に発生する内力の状態が把握されるのが一般的である。次に、床版形式を更新するプレキャストPC床版に替えて、非合成桁としてB活荷重で応力度照査を行う。それでも満足できない場合は、活荷重合成桁として応力度照査を行う。既存の桁が死活荷重合成桁として設計されている場合は、状態に応じて主桁補強が可能かどうか判断するとともに桁取替を視野に入れて検討する必要がある。主桁に生じる応力が許容値より大きい場合は、車両規制や車線規制などを考慮して既設主桁を無補強で整理できることもあるが、多くの場合は桁補強が必要となる。なお、補強が必要と判断した場合は、新設と同じスペックで設計を行うことが基本となる。既設桁の照査に関しては、主桁だけでなく、横構などの2次部材を考慮してせん断パネル照査法あるいはFEM解析にて確認する場合がある。桁補強や2次部材を考慮しても主桁の応力度が許容値に収まらない場合は、桁取替として検討を行うこととなる。既設橋脚や基礎の耐震性についても、照査をしなければならない。さらに、通行止めによる規制日数の制限、送り出し架設や大ブロックによる一括架設などの架設条件により、床版形式として鋼床版で検討しなければならない場合がある。

#### 2.1.4 既設 RC 床版と鋼主桁との接合構造

合成桁は、引張りに強い鋼桁と圧縮に強いコンクリート床版とをずれ止めにより接合させる構造であり、経済面で優れていることから 1940 年代以降、欧米で開発・施工されてきた。表 2.1.1 は、ドイツで合成構造の優位性を示すために用いられてきた表で、曲げ耐力を非合成桁と合わせた場合、鋼重が 6 割以下となることを示している。また、剛性が増えて、しかも構造高も低く出来ることが示されている<sup>1)</sup>。

我が国でも 1955 年ごろから合成桁の建設が始まり、初めは単純構造であったものが連続構造となり、橋全体の軽量化のために主桁に高強度鋼材を床版に軽量コンクリートを用いた構造や、連続化を図るために PC ケーブルを床版内に配置し緊張することで、中間支点上にプレストレスを導入したものなど様々な形式の合成桁が生まれた<sup>2)</sup>。合成桁に関する詳細な内容は 4.1 節に記述している。

表 2.1.1 合成桁と非合成桁との比較<sup>1)</sup>

項目	合成	非合成	
断面図			
曲げ耐力	100%	100%	98%
鋼重	100%	159%	214%
構造高さ	100%	127%	93%
剛性	100%(80%, t=∞)*	72%	46%

※ 合成桁はコンクリートのクリープの影響により、活荷重ではなく死荷重等の持続荷重については最終的に 80%の剛性となる。

合成桁は、このように合理化を求めて考案された軽量の鋼橋であるため、上載荷重に対する抵抗力が現在のものほど大きくはなく、現行基準に基づき設計を進めればほぼ間違いなく補強が必要になること、施工方法に工夫があることなど、設計時に配慮すべき事項が多い。したがって、鋼道路橋の既設 RC 床版を更新するには鋼主桁と RC 床版とがどのように接続されているか、つまり一体として挙動するよう合成されているかどうかを把握することが必要となる。

RC 床版更新時に生じた事故ではないが、施工時に合成桁であることの配慮を欠いたために生じた事故が幾つか報告されている。2011 年 9 月 28 日に崩落した連続合成桁である銚子大橋は、床版撤去後に崩落している<sup>3)</sup>。これを写真 2.1.1 に示す。この橋は連続合成桁として設計施工されていた<sup>4)</sup>が、主要部材である床版を撤去した後に、鋼桁と床版との合成効果を期待せず鋼主桁のみで十分な安全性が保持できるよう配慮されていないことが崩落の原因といわれている。また、2013 年 9 月 6 日に、北海道の月見橋（単純合成桁）が床版撤去中に崩落事故を起こした<sup>5)</sup>。これを写真 2.1.2 に示す。写真から、ずれ止め周りのコンクリートの撤去を先行するという鋼主桁と RC 床版との合成効果が失われるような解体工事が行われていたことがわかる。これら活荷重合成桁として設計された橋が解体中に崩落している状況を知り、鋼桁や RC 床版の荷重も鋼主桁と RC 床版との合成断面で抵抗するとして設計されている死活荷重合成桁の場合は、床

写真 2.1.1 銚子大橋の落橋事故の状況<sup>3)</sup>

(写真提供：千葉県 県土整備部 道路整備課)

写真 2.1.2 月見橋の落橋事故の状況<sup>5)</sup>

(写真提供：国土交通省 北海道開発局 小樽開発建設部)

版更新時に RC 床版を切断し、鋼桁との合成作用がなくなった途端に橋が崩落する危険性があるのではないかと心配になる。解体時はもちろん既設 RC 床版の更新時にも設計施工の際には一層の注意を払う必要がある。

合理的に設計施工された合成桁は建設時に利点がある一方、解体時には多くの問題と課題がある。1998年発行の「合成げたの床版打換え工法に関する調査：外ケーブル工法および軸力導入工法を用いた合成げた床版の打換え設計・施工マニュアル（案）」<sup>6),7)</sup>は、安全に合成桁の床版更新を行えるように留意点をまとめており参考になる。これを引用しつつ合成桁の設計・施工上の問題と技術的課題について述べる。

### (1) 合成桁の種別や施工時の情報収集

鋼道路橋の RC 床版を更新するには、これまで述べてきたように合成桁であるのかないのか、また合成桁であれば、その種別は何なのか、どのような架設工法が取られたのかといったことを調査する必要がある。また、施工時に床版に引張りが生じないように支点をジャッキアップやジャッキダウンして床版を施工された例や、中間支点上の床版に PC 鋼材が配置されている場合もある<sup>4)</sup>。床版撤去時にプレストレスが導入された PC 鋼材を誤って切断すると事故につながるため、このような調査も必要となる。さらに床版更新時には、一時的に構造系が変わったり施工時荷重が載荷されたりすることもあるので、施工状況を踏まえて鋼桁の安定性と安全性の照査を行うことが不可欠となる。

### (2) 施工時における合成桁の応力超過

合成桁の床版更新にあたり、通行止めを行わずに一部供用しながら床版を順次打ち換える場合は、打ち換え境界付近の桁は、合成されるべき床版がない状態で活荷重を載荷することになり、図 2.1.2 に示すように応力超過が生じる可能性がある。

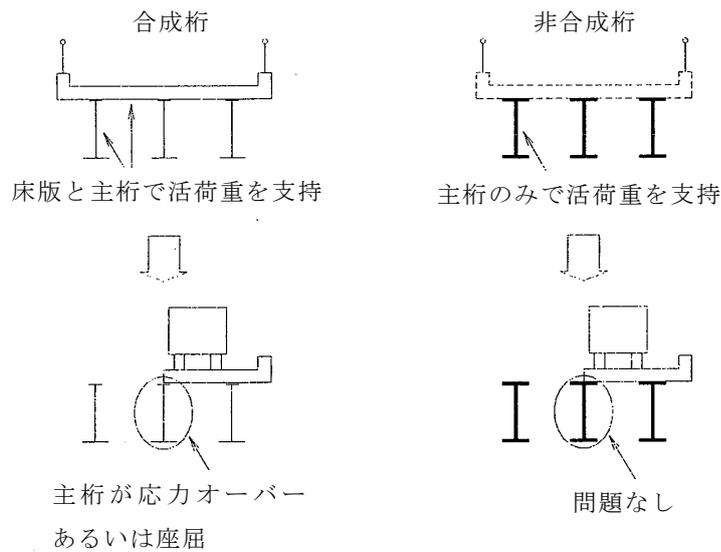


図 2.1.2 合成桁の半断面施工における桁の応力超過概念<sup>7)</sup>

出典：土木研究所資料第 3582 号 平成 10 年 6 月（建設省土木研究所）

合成げたの床版打換え工法に関する調査

－「外ケーブル工法および軸力導入工法を用いた合成げたの打換え設計・施工マニュアル（案）」－

### (3) 合成桁の上フランジの座屈

合成桁の支間部では、死荷重や施工時荷重を上フランジと RC 床版が文字通り合成されて一体となった圧縮部材として荷重を担っている。したがって、RC 床版を撤去すると、従来、鋼上フランジが担っていた応力に加え、撤去された RC 床版が担っていた応力も鋼上フランジに加わる。このように生じた圧縮応力に対し、上フランジが水平方向に適切に支持されていないと、写真 2.1.1 に示すような全体横倒れ座屈が生じる可能性がある。

### (4) キャンバー

合成桁は架設方法によって、4.2 節で記すように応力性状が異なるため、荷重を加えた時のたわみが異なる。例えば、活荷重合成桁と死活荷重合成桁では、同じ支間長で同じ載荷荷重としてもキャンバーが異なる。それは、活荷重のみ合成断面で抵抗するのか、あるいは死荷重も併せて合成断面で抵抗するのかの違いによる。加えて、合成桁は鋼材量が少ない上、桁高も低く剛性も小さいので、非合成桁に比べてキャンバーが大きくなる。例えば、橋長 30m の道路橋の活荷重合成単純桁に必要な製作キャンバーは 100mm 程度になる。このようなことから、更新後の縦断線形を正規の状態にするためにキャンバーには注意が必要となる。例えば、RC 床版からより軽い床版に変える場合、床版の重量の違いにより必要なキャンバー量が変わる。キャンバーの擦り付けにおいても設計計算は不可欠となる。また、未撤去部の桁の影響によりたわみが完全に戻らない状態で床版を打設すると、鋼主桁に残留応力が生じる<sup>7)</sup>。したがって、合成桁の場合、キャンバーによる出来形と設計計算で想定した応力を再現することが課題となる。

### (5) ずれ止め周りのコンクリートの撤去

RC 床版と鋼主桁を接合するずれ止めは、合成桁の場合、文字通り床版と鋼主桁を堅固に一体化している。このため、床版更新を行う場合、ずれ止め周りのコンクリートの撤去は、図 2.1.3 に示すように、ずれ止め周りのコンクリートを残しブレーカーではつることが一般的である。

しかし、このような手順を採った場合、作業時間がかかること、大きな騒音を発生すること、粉塵を発生することが施工上の問題であり、作業効率の向上、騒音や粉塵の抑制が目標になる。

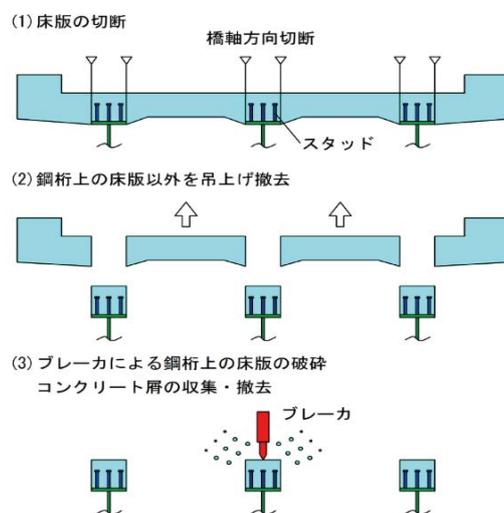


図 2.1.3 合成桁のずれ止め周りのコンクリートをはつるイメージ図

#### 参考文献 (2.1 RC 床版更新に関する問題・課題)

- 1) Helmut Bode: Euro-Verbundbau, 2., völling neu bearbeitete Auflag, Werner Verlag, p. 5, 1998.
- 2) 五十畑弘, 綿引透, 榛澤芳雄: 道路橋鋼合成桁の歴史的調査, 土木学会, 土木史研究, 第 17 号, 1997.
- 3) 日経コンストラクション: 旧銚子大橋の桁が撤去中落下, 第 531 号, p. 33, 2011. 11. 14
- 4) 橋善雄: 連続合成桁橋, 理工図書, p. 246, 1966.
- 5) 日経コンストラクション: 撤去工事中の橋が崩落, 第 576 号, p. 17, 2013. 9. 23
- 6) 伊藤洋, 高田道也, 神田昌幸, 西川和廣, 藤原稔: 外ケーブルを用いた合成桁橋の床版打ち換えにおける構造検討, 土木学会, 構造工学論文集, Vol. 43A, pp. 1087-1096, 1997.
- 7) 建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室: 合成げたの床版打換え工法に関する調査ー「外ケーブル工法および軸力導入工法を用いた合成げた床版の打換え設計・施工マニュアル(案)」ー, 土木研究所資料第 3582 号, 1998.

## 2.2 床版の構造形式と耐久性向上

### 2.2.1 床版の構造形式

国内における鋼道路橋の更新床版の種類は、図 2.2.1 に示すとおり、RC 床版、PC 床版、合成床版（鋼コンクリート合成床版、FRP 合成床版）、I 形鋼格子床版、鋼床版、超高強度繊維補強コンクリート床版に大きく分類される。床版を更新する場合、それぞれの床版の特徴・適用支間・経済性・架設可能かどうかなどを踏まえて、床版の構造形式を決定する必要がある。

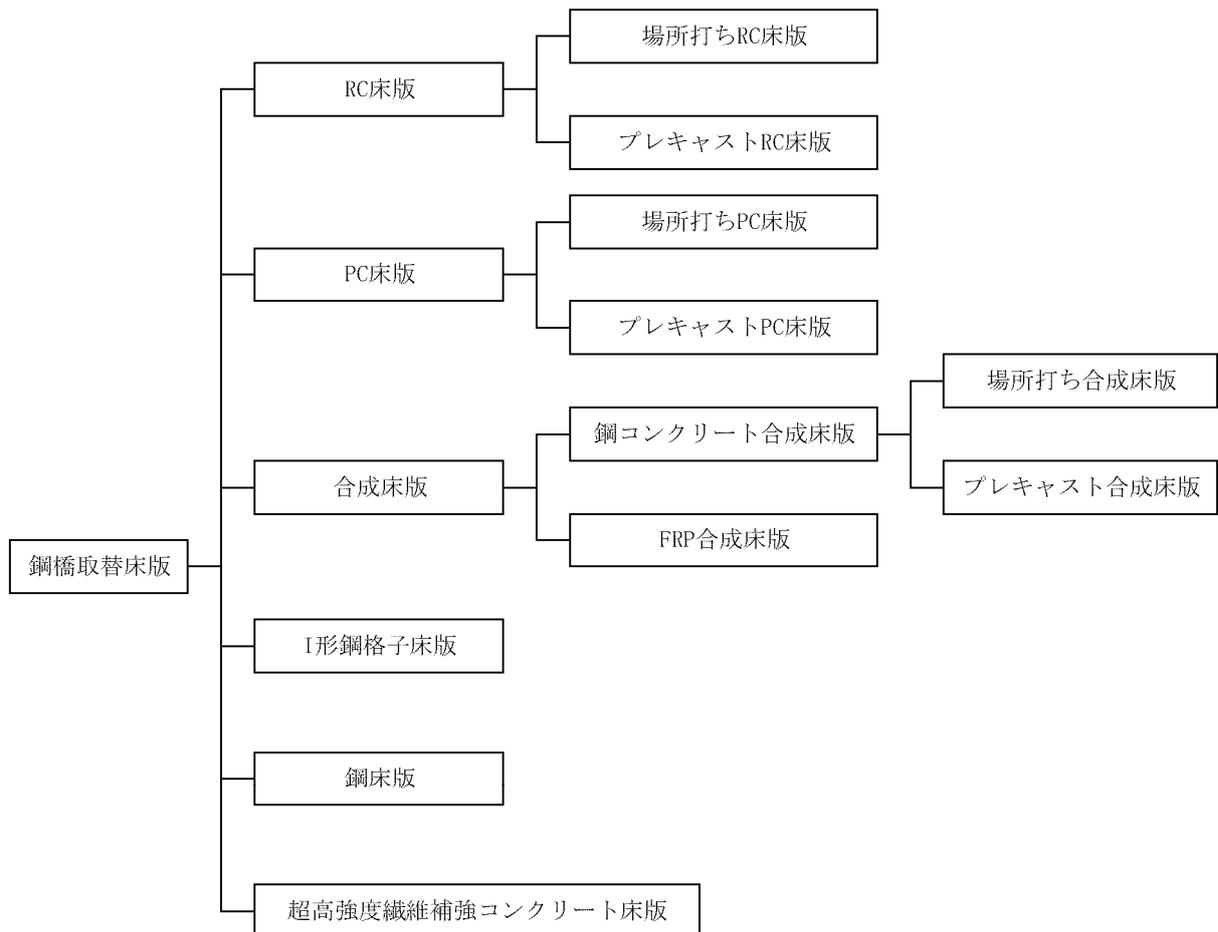


図 2.2.1 鋼道路橋の更新床版の種類

RC 床版は、これまで最も多く採用されてきた床版であり、経済的に優れた床版であるが、現場における施工の工期が比較的長いことや、自重が大きく長支間床版の適用が困難なことなどの短所も指摘されている。また、1.2 節で述べたように昭和 40 年ごろに供用された RC 床版は、床版厚が現在のものに比べて薄く、鉄筋量が少なく、防水層もほとんど施工されてこなかった。このため、重交通路線では疲労による変状などが問題となることがあり、床版支間長を短くするために縦桁を増設したり、床版の増厚などにより対処してきた。なお、現在では設計時点における配力鉄筋の増量、床版厚の増加、鉄筋の許容応力度の引き下げ、不等沈下の割り増し、車両の大型化による活荷重の引き上げ、防水層の設置などにより疲労耐久性が改善されている。

PC 床版は、一般的に橋軸直角方向に PC 鋼材を配置したコンクリート系床版であり、プレストレス導入によるひび割れ抑制により、優れた耐久性を有した床版である。2000 年ごろには、第二東名高速道路などの巨大プロジェクトを見据えて道路橋の合理化・省力化に関する検討が

盛んに行われた。鋼桁の本数を削減しコストを低減するという目的のために、床版を長支間化することが可能な床版としてPC床版の採用が増加した。近年は、プレキャストPC床版による急速施工や、耐久性に優れている点を考慮して、高速道路の大規模更新工事への採用実績が増加している。

合成床版には、鋼材とコンクリートの異種材料を合成した鋼コンクリート合成床版やFRP（ガラス繊維強化プラスチック）とコンクリートなどの2種類の材料を合成したFRP合成床版<sup>1)</sup>などがある。あらかじめ工場で作成したパネル部材を現場において支持桁上に設置し、その部材の上にコンクリートを打設する形式が一般的である。経済的にはRC床版には劣るものの、床版用の支保工・型枠が不要であり、架設時の桁下空間の確保による安全性や部材の一部を工場においてプレファブ化することによる現場工期の短縮、高強度材料の採用にともなう床版厚の低減による死荷重の軽減など、安全確保、工期短縮、構造面に有利となる可能性を持つ床版形式である。（2.2.3項(3)参照）

I形鋼格子床版は、主鉄筋として機能する小型のI形鋼と型枠として機能する亜鉛めっき底鋼板で構成されるプレファブ化した床版である。I形鋼格子床版の底鋼板（厚さ1.0～1.6mmの鋼板）は、型枠であるのに対し、鋼コンクリート合成床版の底鋼板（最低厚6mm以上）は有効断面とみなしている点が、両者で大きく異なっている。また、I形鋼の剛性がそれと直交する鉄筋の剛性に比べて大きいこと、異方性版として設計することも違いの一つである。長所として、コンクリート打設用の型枠や足場が不要なため、工期短縮や安全確保に寄与できる。I形鋼格子床版は、工場製部材を使用するため、品質が安定し、配筋の省力化を図ることが可能である。一方、既に設置された床版では、鋼材の防錆処理のまずさと鋼板とコンクリートとの間に水が浸入した場合の水抜き対策の欠如により鋼材の腐食が生じていることや、点検時において床版下面からの目視点検では鋼板内部の鉄筋コンクリートの変状程度を把握することが困難となるなど問題が生じている。I形鋼格子床版は、昭和55年に発刊された鋼道路橋設計便覧<sup>2)</sup>に掲載されて以降、急速施工が必要とされる鋼橋で使われるようになったが、現在、上記のような背景から床版更新の対象となっているものもある。

鋼床版は、非常に軽量であることから吊橋や斜張橋などの長大橋、曲線部が多い大都市域の都市高速の高架橋などに多く適用されている床版形式である。また、鋼床版を有する桁はコンクリート系の床版を有する桁と比べて架設重量が軽く、一括架設や送り出し架設に適しており、高架橋の下側に交差点や高速道路・鉄道を跨ぐ場所で適用されることが多い。（2.2.3項(2)参照）床版の取替時においては、コンクリート系床版と比較し大幅な死荷重低減が可能となり既設桁や下部構造への負担を大きく軽減できる。また、鋼床版は重交通路線では輪荷重の影響などによる疲労き裂の発生が危惧されていたが、昨今の研究成果などにより、耐久性の改善に向けた様々な対策が提案されている（4.5節参照）。

超高強度繊維補強コンクリート床版<sup>3)</sup>は、超高強度繊維補強コンクリート（Ultra high strength Fiber reinforced Concrete 以下、UFC床版、2.2.3項(1)参照）を用いることで、薄くて軽量で高い耐久性を発揮する床版である。旧基準で設計された既設RC床版は、現行基準より床版厚が薄く、床版支間が4mで床版厚が180mmしかないものもある。このような箇所ではPC床版を現行基準で設計すると210～240mm程度となり、路面高さの変更や、死荷重が増え床版を支える上部工などに補強が必要となる可能性がある。UFC床版は、床版厚を150mm程度と薄くすることができるため、路面高さや死荷重増加の問題を避けることが可能である。このように、UFC床版は、製作コストと上下部工への負担軽減を合わせた総コストの縮減効果が見込めることから、今後、道路橋の更新用床版のみならず橋梁の新設への適用が期待されている。

### 2.2.2 RC 床版の変状要因に対する対応

更新用床版の設計，施工および維持管理の計画にあたっては，調査結果をもとに変状要因を把握したうえで適切に更新計画を立案する必要がある。RC床版の変状要因に対する主な対応事例を表2.2.1に示す。

2.2.2項は，鋼道路橋RC床版に特有の変状要因である塩化物への対応，複数の要因に働きかける水について道路特有の構造物に着目した対応，疲労対応について解説する。

表2.2.1 変状要因に対する主な対応事例

変状要因	主な対応事例
疲労＋水	<ul style="list-style-type: none"> <li>・疲労耐久性に配慮した床版形式の選定。</li> <li>・計画交通量に対する疲労耐久性の確保。</li> </ul>
塩化物イオン＋水	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コンクリートかぶりの確保，塗装鉄筋などの使用，高炉系セメントの使用など。</li> <li>・床版防水システムの構築，表面含浸材や表面被覆塗装による表面仕上げなど。</li> </ul>
凍結融解＋水	<ul style="list-style-type: none"> <li>・凍害に有効なエントレインドエアの適切な確保</li> </ul>
アルカリシリカ反応＋水	<ul style="list-style-type: none"> <li>・反応性骨材を使用しない。</li> <li>・床版防水システムの構築</li> </ul>
中性化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コンクリートかぶりの確保。</li> <li>・表面被覆塗装による表面仕上げ。</li> </ul>
初期欠陥	<ul style="list-style-type: none"> <li>・過密鉄筋を避け，施工性に配慮した構造細目の決定。</li> <li>・施工計画や工事への申し送り事項として，施工手順や留意点を整理。</li> </ul>

#### (1) 塩化物への対応

中央自動車道，北陸自動車道などの雪氷区域において実施された対策事例を以下に示す。凍結防止剤によるコンクリート表面の塩化物イオン濃度の調査結果<sup>4)</sup>を図2.2.2に示す。

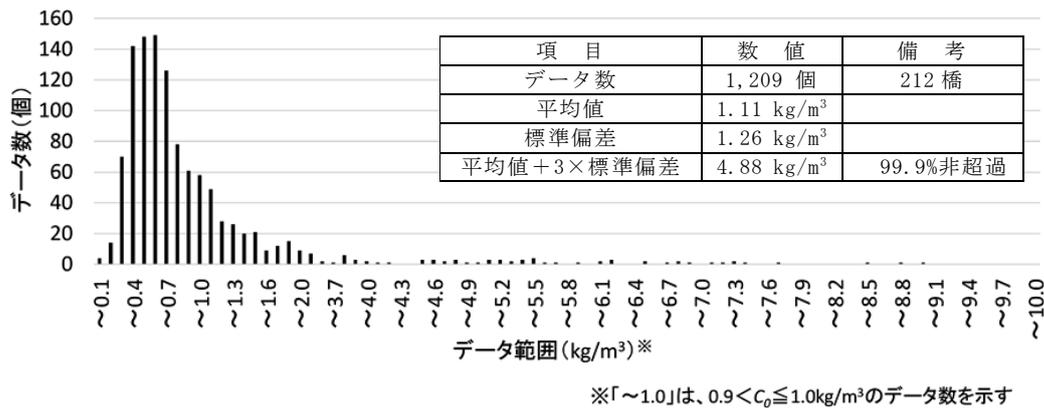


図 2.2.2 既設床版上面(表面)における全塩化物イオン量調査結果<sup>4)</sup>

(調査条件)

- ① 凍結防止剤の散布量は，11.6～23.1t/年
- ② 調査データ数は，212 橋，1209 箇所
- ③ 大多数の調査箇所では床版防水層は実施していない
- ④ 中性化の影響は少ない

本調査結果から，全調査データの「平均値＋3σ」（99.9%非超過確率）となるコンクリート

表面の塩化物イオン濃度  $C_0$  は、 $4.88 \text{ kg/m}^3$  となる。調査結果から、凍結防止剤の年間散布量を求めることで、凍結防止剤による塩害に対する作用として、コンクリート表面の塩化物イオン濃度  $C_0$  を設定することが可能となる。高速道路会社で行われているコンクリート系床版の表面塩化物イオン濃度  $C_0$  を決定するフローを図 2.2.3 に示す。

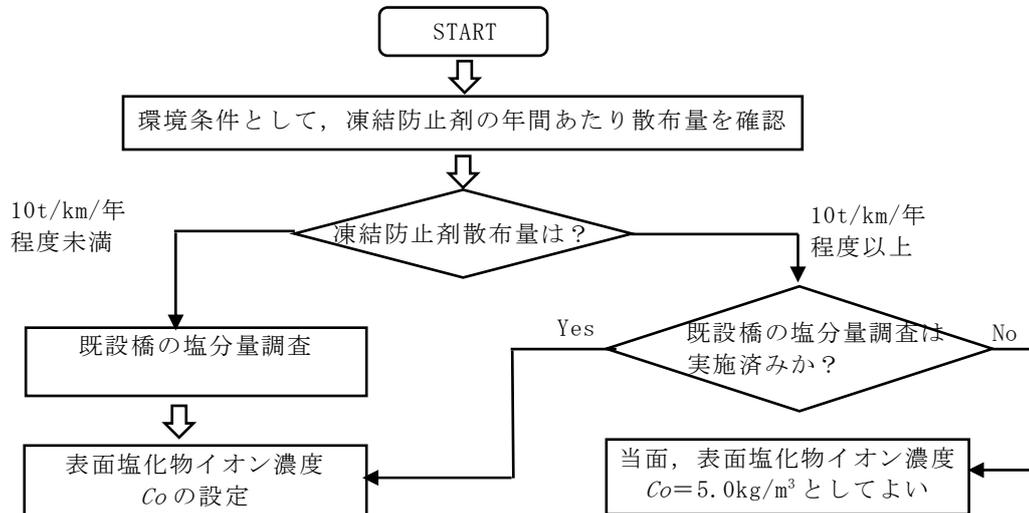


図 2.2.3 凍結防止剤散布に伴うコンクリート表面塩化物イオン濃度  $C_0$  の決定フロー<sup>4)</sup>を基に改変転載

1) プレキャスト PC 床版の場合

プレキャスト PC 床版は、RC 床版に比べて水セメント比  $W/C$  が小さく、塩害に対する抵抗性は高いが、凍結防止剤の散布下では厳しい状況になる場合がある。図 2.2.3 のフローにより、プレキャスト PC 床版の表面塩化物イオン濃度  $C_0$  が決定した場合、Fick の第二法則に基づく拡散方程式を用いて、鋼材位置での塩化物イオン濃度  $C_d$  が腐食発生限界濃度  $C_{lim}$  に対して安全率（構造物係数  $\gamma_i$ ）を確保できるように計画する。設計供用期間を 100 年とした場合の  $C_0$  に対する鉄筋および PC 鋼材の防錆仕様の例を表 2.2.2 に示す。

表 2.2.2 プレキャスト PC 床版の塩害に対する耐久性照査の試算例<sup>4)</sup>

No.	セメント種別	鋼材の防錆種別 <sup>*2</sup>			耐久性 100 年を確保できる $C_0$ の限界値 <sup>*1</sup>
		区分①	区分②	区分③	
1	早強セメント	エポキシ樹脂塗装鉄筋	普通鉄筋 <sup>*3</sup>	普通 PC 鋼材	$C_0 \leq 2.9 \text{ kg/m}^3$
2	早強セメント	エポキシ樹脂塗装鉄筋	エポキシ樹脂塗装鉄筋	普通 PC 鋼材 <sup>*4</sup>	$C_0 \leq 5.0 \text{ kg/m}^3$
3	早強セメント + 高炉スラグ微粉末	エポキシ樹脂塗装鉄筋 <sup>*5</sup>	エポキシ樹脂塗装鉄筋	普通 PC 鋼材	$C_0 \leq 9.5 \text{ kg/m}^3$

\*1  $W/C=35\%$ で試算  
 \*2  $C_0$ の限界値となる鋼材区分を下線で示す  
 \*3 区分②の鋼材までのかぶり：59mm 以上  
 \*4 区分③の鋼材までのかぶり：82mm 以上  
 \*5 区分①のかぶり：場所打ち部の施工誤差を考慮して 35mm で試算

プレキャスト PC 床版の塩害に対する耐久性向上のための対策は、以下のようなものが考えられる。

- ① コンクリートの水セメント比  $W/C$  を低下
- ② 塩化物イオンに対する拡散係数の特性値を低下させることが可能なセメントまたは混和材（例えば、フライアッシュ、高炉スラグ微粉末など）の使用

- ③ エポキシ樹脂塗装鉄筋，エポキシ樹脂被覆 PC 鋼材の使用
- ④ ステンレス鉄筋，ステンレス PC 鋼材の使用
- ⑤ 非鉄材料を使った補強材および緊張材の使用

適用事例については，2.2.3 項(1)を参照されたい。

また，取替床版としては，プレキャストあるいは場所打ち RC 床版も考えられるが，検討事例が少ないため，ここでは特に取り上げていない。RC 床版の塩害対策もプレキャスト PC 床版と同様な対策が有効であるが，設計荷重作用時にひび割れの発生を許容するため耐久性上の留意が必要となる。

## 2) 鋼床版の場合

鋼床版の塩害（腐食）への対応については，塩害に強い塗装系，つまり重防食塗装である C 系を用いるなどの対策を講じることが必要となる。しかし，凍結防止剤を散布するような寒冷地では，凍結が懸念されるため，軽量化を要求される条件下以外では，実績は多くない。鋼床版については 2.2.3 項(2)と 4.5 節を参照されたい。

### (2) 水への対応

RC 床版の水対策は，床版防水層を施すことが基本となる。床版防水層は 1.6.1 項を参照されたい。ここでは，床版更新時において弱点となりやすい排水設備と壁高欄設置時の留意点を解説する。

#### 1) 排水設備の場合

排水設備は，一般的に，排水柵，床版水抜き孔，導水帯，導水パイプ，端部止水処理にて構成される。

排水柵は，上面を舗装路面高さに合わせて設置し，床版高さよりも低い位置に呑み口を設置する。また，排水柵と床版との境界部から漏水することが懸念されるため境界部は図 2.2.4 に示すように床版防水層を被せて施す。また，プレキャスト PC 床版と排水柵の隙間からの漏水を防ぐために，珪砂付きの排水柵が用いられた事例もある（写真 2.2.1）。

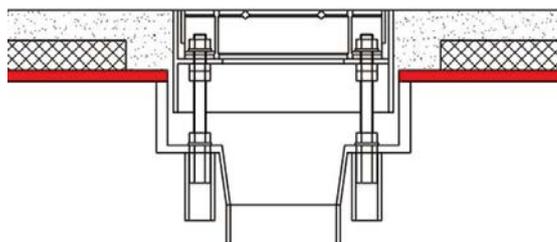


図 2.2.4 排水柵と床版部の境界部の事例 <sup>5)</sup>を改変して転載



写真 2.2.1 珪砂付き排水柵の事例 <sup>5)</sup>

床版水抜き孔は、床版防水層上の導水パイプによって集水された雨水などを滞留させることなく速やかに排水することを目的に設置する（図2.2.5）。

また、床版水抜き孔を設けた場合は、その流末を床版下面から垂れ流しにすると、下床版や桁部材などに飛散し、予期せぬ事象に発展することがあるため、確実に雨水排水管に接続するなどし、適切に流末処理する必要がある。

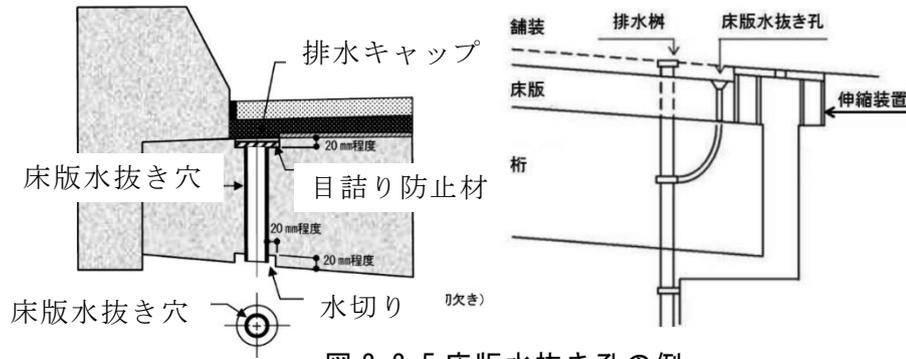


図 2.2.5 床版水抜き孔の例

## 2) 壁高欄の場合

地覆と床版との接合部においては、橋面上の雨水や凍結防止剤が浸入しやすいことから、表 2.2.3 に示すように床版上の地覆立上げ部は床版上面に水平に打継目を設けず、一体製作するのが良い。

表 2.2.3 地覆部の施工例<sup>5)</sup>

施工ケース	ケース 1: 地覆立上げ部と床版を一体製作	ケース 2: 一体製作後に地覆部を工場製作	ケース 3: 一体製作後に地覆・壁高欄を工場製作
概要図			
特徴および留意点	<ul style="list-style-type: none"> <li>床版上面に地覆の打継目がなくなることから、地覆部鉄筋への雨水などの浸入を防ぐことができる。</li> <li>地覆立上げ部の天端は、打継処理が必要となる。</li> <li>平面曲線を有する橋梁の場合、出来形を確保する対策を検討する必要がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地覆部鉄筋の腐食防止に加えて、床版の PC 鋼材端部の防錆を工場製作時から確保することができる。</li> <li>架設現場では壁高欄部のみ製作となるので、ケース 1 よりも現場作業の省力化を図ることができる。</li> <li>地覆部天端の打継処理が必要となることに加えて、地覆部の通りを架設前に確認する必要がある。</li> <li>平面曲線を有する橋梁の場合、出来形を確保する対策を検討する必要がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地覆と壁高欄の打継目がない。</li> <li>現場作業の効率は高い。</li> <li>PC 床版 1 枚あたりの架設重量が増えるため、架設方法に留意する。</li> <li>地覆に加えて壁高欄の軸方向鉄筋も不連続となる。</li> <li>壁高欄まで工場製作となることから、事前に仮組を行い、通りや高さなどの出来形を入念に確認する必要がある。</li> <li>平面曲線を有する橋梁の場合、出来形を確保する対策を検討する必要がある。</li> </ul>

### (3) 疲労への対応

重交通の道路では過積載車を含む重車両の繰返し荷重の影響により既設 RC 床版が疲労により劣化する可能性がある。既設 RC 床版の疲労劣化過程については表 1.4.1 を参照されたい。

既設 RC 床版の劣化要因が交通量の影響によると考えられる場合には、交通量調査は、更新用床版の性能を評価する際の参考にすることができる。交通量調査方法および調査結果の事例を以下に示す。

#### 1) 交通センサス（国土交通省）

道路交通センサスは、全国の道路と道路利用の実態を捉え、将来の道路整備の道路状況、交通量、走行速度、自動車運行の出発点・目的地・運行目的を調査するものである。国土交通省では、道路交通センサス（全国道路・街路交通情勢調査）などの各種調査を 5 年毎に実施している。

#### 2) Bridge Weigh-In-Motion による調査

Bridge Weigh-In-Motion（以下、BWIM）は、交通流を妨げることなく、橋梁上を通行する車両の重量や軸重を精度よく継続して計測するシステムである。BWIM では、橋梁部材にひずみゲージを設置して、車両進行時に発生するひずみ応答を解析することで荷重計測を行う。BWIM により、過積載車を含む通行車両の軸重などの活荷重実態を把握することで、対象橋梁の累積疲労損傷度や疲労寿命を評価することができる。BWIM による軸重の計算結果を図 2.2.6 に示す。

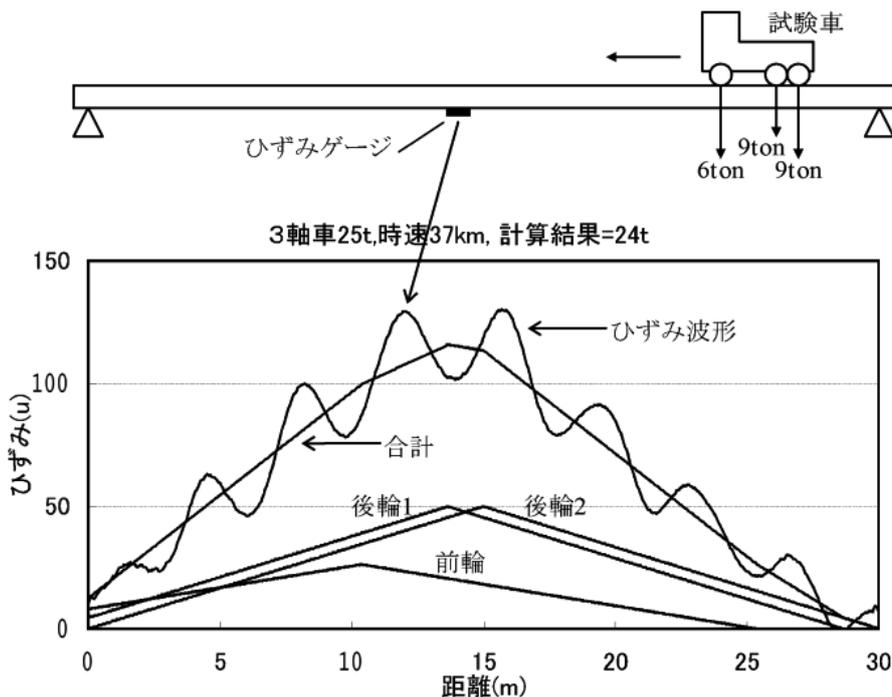


図 2.2.6 BWIM による軸重の計算結果<sup>6)</sup>

#### 3) 過去の調査結果事例

東名高速道路の日本平で計測された軸重分布<sup>7)</sup>を図 2.2.7 に示す。年間 1 車線あたり約 8 百万台分の軸重が载荷され、44kN にピークがある分布となっている。ここで、軸重とは一般的な大型車であるタンデム車の前輪 1 軸、後輪 2 軸の個々の軸重のことである。

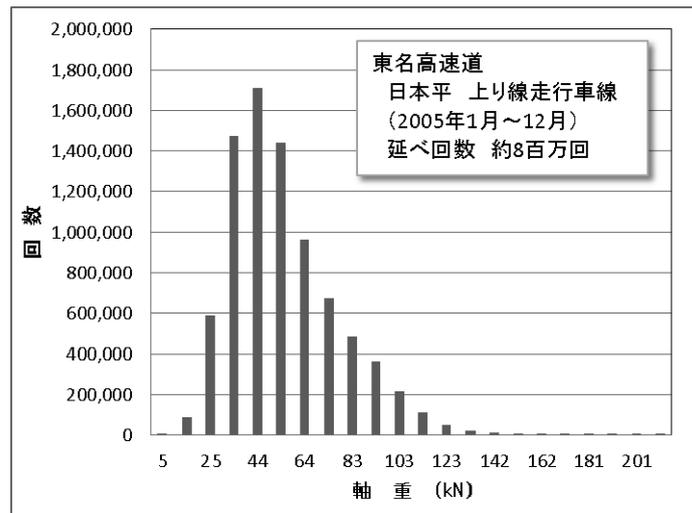


図 2.2.7 軸重計測例<sup>7),8)</sup>

高速道路の更新用床版の疲労耐久性を照査する方法として、表 2.2.4 に示す方法が 2018 年に提案された。この方法は、比較的短支間（4m 以下）である更新床版の形状寸法を考慮して、PC 床版の設計条件を大きく逸脱しない載荷荷重値や現実的な載荷回数とする試験方法となっている。この試験方法は、東名高速道路日本平での 1 年間の軸重実測データをもとに、耐用年数 100 年相当の等価繰返し回数を算出して、継手構造に求める耐疲労性を満足する性能としている。

表 2.2.4 耐用年数 100 年相当の等価繰返し回数算出条件の例<sup>7)</sup>を改変して転載

項目	数値など
軸重計測データ	東名高速道路 日本平 上り線走行車線 (2005年1月～12月) 延べ回数：8百万回
基本輪荷重 $P_k$	157kN
RC 床版の S-N 曲線における勾配の逆数 $m$ (松井式)	12.76
疲労損傷率指数 $DI$	$2.16 \times 10^{35}$
1 年当たりの等価繰返し回数 $N_T$	$3,450 \text{ 回/年} = 1.15 \times 2.16 \times 10^{35} / (2 \times 157)^{12.76}$
RC 床版に対する水の影響の割増し	100 倍
耐用年数 100 年相当の等価繰返し回数 $N_{100k}$	$3.45 \times 10^7 = 3,450 \times 100 \times 100$ ( $P_k = 157\text{kN}$ )
試験輪荷重 $P_T$	250kN に設定した場合
耐用年数 100 年相当の等価繰返し回数 $N_{100T}$	$1.0 \times 10^5 = 3.45 \times 10^7 \times (157/250)^{12.76}$ ( $P_T = 250\text{kN}$ )
更新床版に着目した輪荷重走行試験の 供試体条件	スパン 2.5m 単純版 (3.2m 連続版相当) 床版厚 220mm
判定規準	耐用年数 100 年相当の等価繰返し載荷後に 水張試験をおこない、漏水が生じないこと

### 2.2.3 耐久性の高い床版の考え方

#### (1) プレキャスト PC 床版

プレキャスト PC 床版は、PC 工場または現場製作ヤードで製作したプレキャスト PC 版を、クレーンや架設機などで鋼桁上に順次架設し、床版と鋼桁及び床版相互を接合して構築するものであり、床版の疲労耐久性向上、現場作業の省力化、工期短縮が図れる床版形式である。また、一般に工場製作であることから品質の信頼性が高く、製作し架設するまでの養生期間が確保できるため、場所打ち床版と比べてコンクリートのクリープ・乾燥収縮に対する拘束の影響が小さくなる。一方、鋼桁に作用する死荷重の増加に留意する必要がある。接合部の構造で床版厚が決まることがあるため、与えられた条件の中で接合構造及び床版厚を適切に設定する必要がある。その他、既設の RC 床版と同様、コンクリート・鉄筋を主材料とするため、施工場所の環境条件や既設床版の劣化要因を踏まえた耐久性向上策を施す必要がある。

プレキャスト PC 床版は、プレストレス導入の方向やプレキャスト床版相互の接合構造により分類できる。プレストレス導入の方向では、橋軸直角方向のみの 1 方向にプレストレスを導入する形式と、橋軸直角方向と橋軸方向の 2 方向にプレストレスを導入する形式がある。プレキャスト床版相互の接合構造では、橋軸方向の接合と橋軸直角方向の接合に分けられ、現場施工となる接合部のデメリットを軽減するために、施工性向上や工程短縮を目指した様々な接合構造の技術開発が行われている。

プレキャスト床版に用いられる材料、施工に必要な部位などについて、耐久性向上の観点から詳細を以下に解説する。

#### 1) コンクリート

##### a) 高炉スラグおよびフライアッシュ

セメントの一部を高炉スラグ微粉末に置換し、または細骨材に高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートや、セメントのほかにフライアッシュを結合材とするコンクリートは、一般的にコンクリートの緻密性を確保し、塩分浸透量を抑えるとともに、塩分環境下のアルカリシリカ反応による劣化を抑制することができることが知られている。なお、塩分環境下の ASR の抑制効果はフライアッシュセメントのほうが高炉セメントを用いたコンクリートよりも高いこと、高炉セメントは普通セメントよりも早期に温度が上昇し温度応力ひび割れの発生確率が上がることなどの特質がある。一方で、フライアッシュコンクリートは使用する種類によっては未燃カーボンが多く含まれていることから、使用前には試験施工や各種実験などで未燃カーボンの影響を確認する必要がある。

凍害に対する抵抗性としては、各種室内試験が行われているものの、その有効性は明らかになっていない。例えば、相対動弾性係数により評価した論文<sup>9),10)</sup>では、高炉スラグ微粉末や高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートでは塩水による凍結融解試験により耐凍結融解抵抗性は高いという結果が報告されている。スケーリング量を指標とした論文<sup>11),12)</sup>では、高炉スラグ微粉末や高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートでは、塩水による凍結融解試験で普通コンクリートよりスケーリング量が増えたとの報告がある。また、フライアッシュコンクリートについては、高炉スラグ微粉末を使用した場合と比べて、塩化物イオンの浸透抵抗性が低くなる細孔の粗大化が確認され、フライアッシュを高置換率（論文では 30%）で使用した場合に塩化物イオンの浸透と同時に凍結融解作用の影響を受けやすくなるとの報告<sup>13)</sup>もある。

東北地方における試行的な取り組みとして、新気仙大橋<sup>14)</sup>や浪板橋<sup>15)</sup>が挙げられる。高炉セメントを使用した新気仙大橋では 28 日以上もの湿潤養生、フライアッシュコンクリートを使用した浪板橋においては 3 ヶ月間の湿潤状態を確保しており、床版取替工事で使用する場合には、

現場における養生期間の確保が問題となる。SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術サブプロジェクトでは、凍結抑制剤散布下における RC 床版の耐久性確保の手引き（案）<sup>16)</sup>をまとめており、配合から施工上の注意事項までコンクリート系の床版の耐久性を確保するための方策がまとめられている。

#### b) 超高強度繊維補強コンクリート（UFC）

UFC は強度が高いだけでなく、鋼繊維の補強効果により高い靱性が確保され、緻密構造により極めて高い耐久性を有している。UFC の構造物では、これら超高強度や高耐久性によって部材の薄肉化と軽量化が可能である（図 2.2.8）。その利点により、更新用床版への利用可能性が十分期待できる材料である。

UFC は、セメントやシリカヒュームからなる粉体と、鋼繊維、専用減水剤により構成されており、粗骨材は一切含まない。「超高強度繊維補強コンクリート設計・施工指針（案）土木学会 2004.9」によれば、UFC は、圧縮強度の特性値が  $150\text{N/mm}^2$  以上、ひび割れ発生強度の特性値が  $4\text{N/mm}^2$  以上、引張強度の特性値が  $5\text{N/mm}^2$  以上の繊維補強を行ったセメント質複合材と定義されている。水セメント比は 0.24 以下で、引張強度  $2 \times 10^3\text{N/mm}^2$  以上で、直径 0.1~0.25 mm、長さ 10~20 mm の補強用繊維を、2vol.% 以上混入したものを標準と規定されている。

圧縮強度  $100\text{N/mm}^2$  を越える超高強度コンクリート材料の適用を考えた場合、従来の鉄筋コンクリート構造の延長上では、コンクリートの高強度化に合わせて鉄筋の高強度化が必要となる場合が多い。UFC の強度にこれを当てはめると 4 倍程度の強度を有する鉄筋が必要となり、鉄筋の開発が大きな問題となる。鉄筋の継手、定着、付着やひび割れの分散性、曲げ加工性など様々な問題の解決が必要となり、特に床版のような曲げ部材においては、これらの問題が顕著になる。また、いくら高強度化を図っても、鉄筋のかぶりの規定などで部材厚が決定されてしまう場合が少なくなく、高強度を活かしたスレンダーな構造の実現には多くの課題が存在していた。

UFC は、このような鉄筋コンクリート構造の高強度化とは違った視点から高強度コンクリート構造を実現する材料を目指し、高強度化の課題であった鉄筋を用いないコンクリートとしている。UFC には靱性を確保するために多量の鋼繊維が配合されており、部材内に鉄筋を用いないことを基本としている。また、圧縮強度低下の原因となる不良骨材の混入や骨材界面での破壊を排除するために、粗骨材を使用せず、粒径 1 mm 程度の細砂のみが使用されている。これにより、高強度を活かした薄い部材厚を設定することができ、軽量化や経済性の実現が可能とされている。

既設の RC 床版を更新する際、コンクリート製床版を採用する場合、新設時と更新時の適用基準の差によって部材厚などが大きくなることもあり、その重量増に伴い既設桁や下部工の補強の必要が生じる可能性がある。UFC 床版は、その補強の低減、さらには補強不要となることもある。3.2.6 項に UFC 床版を用いた床版更新事例を紹介している。



図 2.2.8 桁断面比較（イメージ）

2) 鋼材

a) 鋼材の被覆

プレキャスト床版を使用した場合にも接合部は現場打ちコンクリートとなり、プレキャスト部と比べてコンクリートの品質はばらつきが大きくなる。そこで、接合部に使用する鉄筋には樹脂被覆された鉄筋を用いることが多い。凍結防止剤散布量の多い地域では、接合部だけでなく、プレキャスト部も含めて鉄筋や、場合によっては PC 鋼材にエポキシ樹脂塗装鋼材を使用する例がある。

2.2.2 項に高速道路会社で行われている塩害対策を紹介した。高速道路会社は、凍結防止剤散布量から表面塩化物イオン濃度を設定し、塩化物イオンの拡散 (Fick の拡散方程式) を指標とした耐久性照査が行われており、さらに詳しく解説する<sup>4)</sup>。鉄筋や PC 鋼材の防錆の要否や種類の判定は、図 2.2.9 に示すように、区分①～③に分類し、それぞれの区分に対して床版上面側の鋼材を対象とした照査を行うこととしており、他の継手構造を用いる場合も同様の考え方で防錆区分を設定している。

次に、プレキャスト PC 床版の一般的な水セメント比 35%の早強セメントを用いた場合における塩化物イオンの浸入に伴う鋼材腐食に対し、耐久性 100 年を確保できる表面塩化物イオン濃度の限界値について試算した結果を図 2.2.10 に示す。

ここで、これまで床版コンクリート上面 (表面) における塩化物イオン濃度  $C_0$  の設定方法に関する指標がなかったため、中央自動車道などにおける塩分量の全調査結果 (図 2.2.2) から、安全側に配慮して「平均値 + 3 × 標準偏差」をとり、雪氷対策による凍結防止剤の散布量が 10t/km/年程度以上となる区間において設計に用いる標準値として、 $C_0 = 5.0 \text{kg/m}^3$  と設定した。なお、10t/km/年程度を下回る環境の路線においては過大な設定となるおそれがあるため、別途調査・分析を行うこととしている。図 2.2.10 に示す表は、区分①および②はエポキシ樹脂塗装鉄筋、区分③には普通 PC 鋼材で照査を満足することを示している。今後、表面塩化物イオン濃度の設定方法や材料選定方法について精度向上が予定されている。

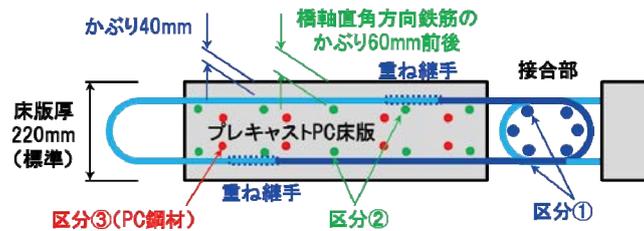


図 2.2.9 プレキャスト PC 床版における鋼材の区分

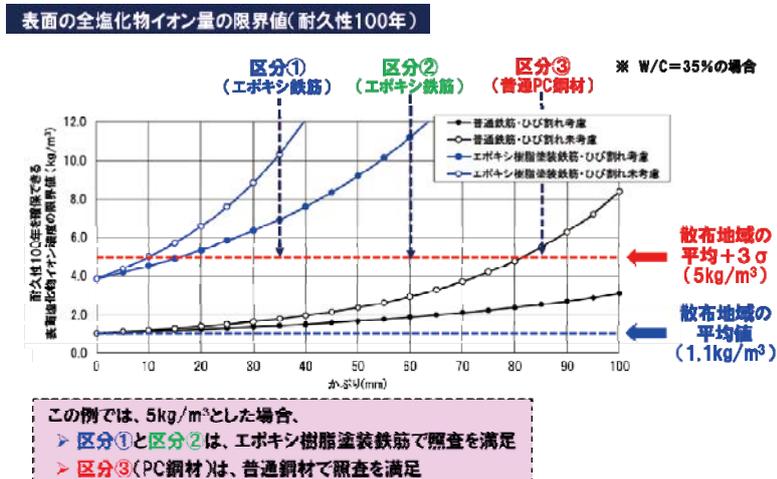


図 2.2.10 表面塩化物イオン濃度の限界値

### b) 非鉄材料

腐食するおそれのない非鉄材料を採用した床版の一例として、**図 2.2.11** に示す設計基準強度  $80\text{N/mm}^2$  のビニロン繊維補強コンクリートと緊張材として用いるアラミド FRP ロッドのみを用い、鉄筋や PC 鋼材を一切使用しない非鉄製材料を用いた超高耐久床版<sup>17)</sup>が開発されている。既に実物大の床版モデルに対して輪荷重走行試験が実施され、実用化に十分な疲労耐久性を有することが確認されており<sup>18)</sup>、今後、床版取替などの更新用床版として、飛来塩分や凍結防止剤散布による鋼材の腐食環境が厳しく、高い耐久性が望まれる箇所への適用が期待される。

その他の非鉄材料としては、ステンレス鉄筋、炭素繊維材などがあり、疲労耐久性が確認できると腐食環境に強い新たな床版として使用される可能性がある。

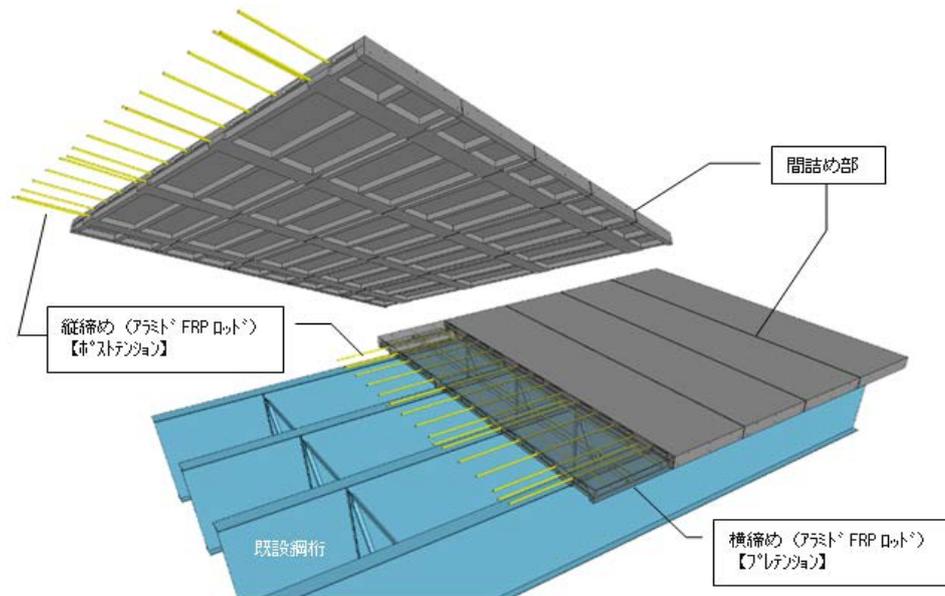


図 2.2.11 超高耐久床版の概要図<sup>17)</sup>

### 3) プレキャスト床版相互の接合構造

プレキャスト床版相互の接合は、主に橋軸方向に並べた床版を接合するための継手として橋軸方向継手、床版取替を幅員方向に分割して行う場合の継手として橋軸直角方向継手がある。ここでは、**図 2.2.12** に示すように、橋軸方向接合部、橋軸直角方向接合部と呼称する。一般に、橋軸方向接合部はプレストレスを導入せず、鉄筋と間詰めコンクリート、あるいは間詰めモルタルのみで荷重を伝達する構造が用いられる。これは、プレキャスト PC 床版の支間方向が橋軸直角方向であり、橋軸方向の曲げモーメントは小さくプレストレスを導入しない RC 構造で十分

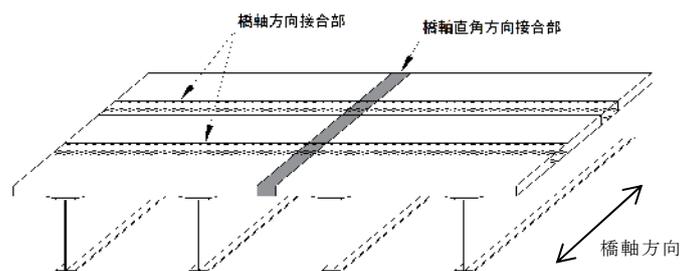


図 2.2.12 床版相互の接合部の呼称<sup>19)</sup>

であるためである。一方、橋軸直角方向は車両荷重を支える主方向であることから、分割施工する場合の橋軸直角方向接合部にはプレストレスを導入する接合構造を用いることが多い。

接合構造の一覧を表 2.2.5 に示し、各内容を以下に解説する。なお、ここに記す以外にも様々な接合構造の技術開発が行われており、接合構造の要求性能に関する基準化が待望されている。

表 2.2.5 プレキャスト床版相互の接合構造

No.	名称*	接合方向	床版へのプレストレス導入方向	接合部へのプレストレス導入
a	ループ継手	橋軸方向	橋軸直角方向	なし
b	エンドバンド鉄筋継手	橋軸方向	橋軸直角方向	なし
c	ナット付き鉄筋継手	橋軸方向 </td <td>橋軸直角方向</td> <td>なし</td>	橋軸直角方向	なし
d	モルタル目地 PC 接合*	橋軸方向	橋軸方向・橋軸直角方向	あり
e	ループ継手 (スリット構造)	橋軸方向	橋軸直角方向	あり
f	幅員方向分割取替工法用継手*	橋軸直角方向	橋軸直角方向	あり

※固有名称のない接合構造については、区別のため便宜的に名称を記載している。

#### a) ループ継手

最も実績のある構造として、ドイツの規準から導入したループ継手<sup>20)</sup>がある(図 2.2.13, 図 2.2.14)。この構造は、平成 9 年に伊勢湾岸自動車道東海大府高架橋にて最初に用いられ、以後、旧日本道路公団(現 NEXCO 3 社)では、標準構造として採用されている。ループ継手の特徴は、ループ内のコンクリートコア部の圧縮効果により接合強度が得られ、重ね継手の場合と比較して継手長さが短縮可能な点である。一方で、プレキャスト版敷設後にループ内に鉄筋を配筋するため、鉄筋の挿入が面倒なうえ、過密な鉄筋の中に膨張コンクリートを充填することが必要となり、施工性はよくない。ループ鉄筋の曲げ半径の規定により床版厚が厚くなるという問題点もあり、桁への影響などから床版厚を既設床版と同等程度に抑えなければならない更新用床版においては、近年、鉄筋の先端にずれ止めを設けた鉄筋を用いて床版厚を薄くできる構造が開発されている。鉄筋の曲げ加工を要しない継手として開発された代表的な継手を b, c, d に示す。

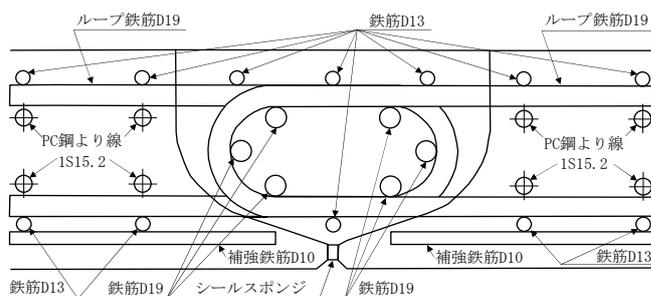


図 2.2.13 あご付ループ継手

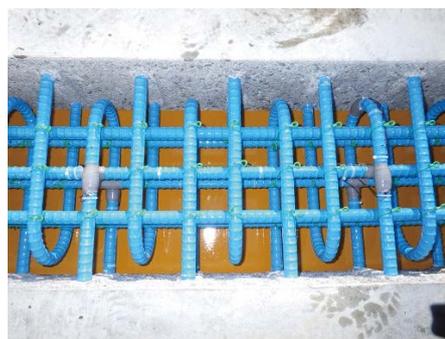
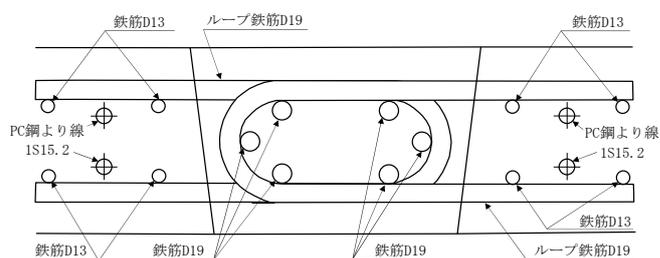
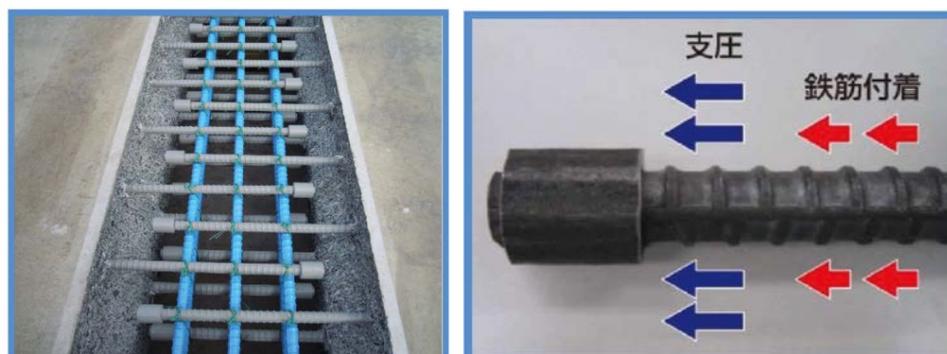


図 2.2.14 あごなしループ継手

## b) エンドバンド鉄筋継手

写真 2.2.2 はエンドバンド鉄筋継手<sup>21)</sup>である。鉄筋の先端に鋼管を圧着した鉄筋（エンドバンド鉄筋）を使用することでコンクリートとの付着を鉄筋先端でも受けられるようにしている。計算耐力以上の耐力を確保するために継手長を  $15d$  ( $d$  は鉄筋の直径) と設定しており、ループ継手と比べると若干接合部長さが長くなるものの、床版厚を薄くできるため床版重量の軽減が可能であり、架設や接合部における橋軸直角方向鉄筋（橋軸方向接合部）の配置がループ継手と比較し容易であり施工性に優れている。

写真 2.2.2 エンドバンド継手<sup>22)</sup>

## c) ナット付き鉄筋継手

写真 2.2.3 はナット付き鉄筋継手<sup>23)</sup>である。配力鉄筋の先端にナットを設置した構造であり、エンドバンド鉄筋継手と同様の付着機構を有する。継手長が  $10d$  の場合、打継目地では降伏荷重の 9 割程度の耐力であったが、 $12d$  以上の長さがあれば降伏荷重程度の耐力を有することが確認されている。エンドバンド継手と同様、配筋作業が簡易であることから施工時間の短縮が可能となる。

写真 2.2.3 ナット付き鉄筋継手<sup>23)</sup> 写真左

#### d) モルタル目地 PC 接合

ループ継手が開発される前の初期の床版取替工事においては、橋軸方向にプレストレスを導入して各プレキャスト床版を接合していた（図 2.2.15）。橋軸方向の PC 鋼材を挿入し、床版間の隙間に無収縮モルタルを充填した後に PC 鋼材の緊張を行って一体化するものである。

事例として、旧日本道路公団において初めて実施された床版取替工事の中央自動車道古川渡橋<sup>24)</sup>がある。近年、急速施工が可能な点を見直され、2018 年には北陸自動車道の太田高架橋でも採用された。

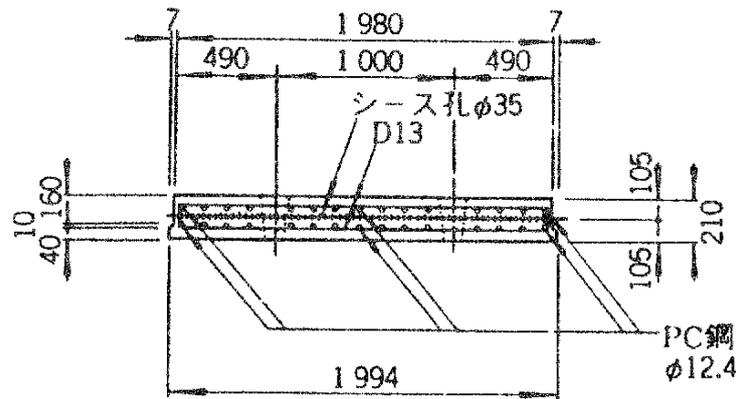


図 2.2.15 モルタル目地 PC 接合<sup>24)</sup>

#### e) ループ継手（スリット構造）

図 2.2.16 はループ継手（スリット構造）<sup>25)</sup>である。橋軸方向接合部においてループ定着で生じる割裂力に対し、PC 鋼材でプレストレスを導入することにより橋軸直角方向の配筋を省略し、配筋作業を短縮している。間詰め部をスリット構造とすることで、モルタル打設量を削減するとともに、水和熱による温度応力の影響の軽減を実現した。間詰め部の材料を「超速硬無収縮モルタル+粗骨材」とすることで養生時間を短縮し、仕上げ性と打込み作業性を容易にするため、段落し構造を採用するなど、現場における施工性と工程短縮を目指して開発された継手である。本構造は通行止め時間の大幅短縮が必要であった西名阪自動車道御幸大橋（上り線）で使用されている。



図 2.2.16 ループ継手（スリット構造）<sup>25)</sup>

## f) 幅員方向分割取替工法用継手

図 2.2.17 は幅員方向分割取替工法のために開発された橋軸直角方向接合部に用いる継手<sup>26)</sup>である。コンクリートスラブキーが配置された縦目地部をエポキシ樹脂接着剤で接合し、ポストテンション PC 鋼材により一体化する構造となっている。幅員方向に分割して床版取替を行う場合、先行して取替が完了した床版上を供用することとなり、通行する車両によってたわみや振動が生じ、床版接合時にコンクリートスラブキーの欠けなどが発生する可能性があるため、ガイドキーを配置し、容易にかつ精度良く接合できる構造としている。ガイドキーは接合目地部からの漏水による腐食対策のため、非金属製とされている。

また、幅員方向に分割された一体化する前の床版上を車線運用することとなるため、それぞれの分割した床版が独立して成立する構造となるよう、プレテンション PC 鋼材でプレストレスを導入しており、縦桁を配置しなくても幅員方向に分割した取替を可能としている。

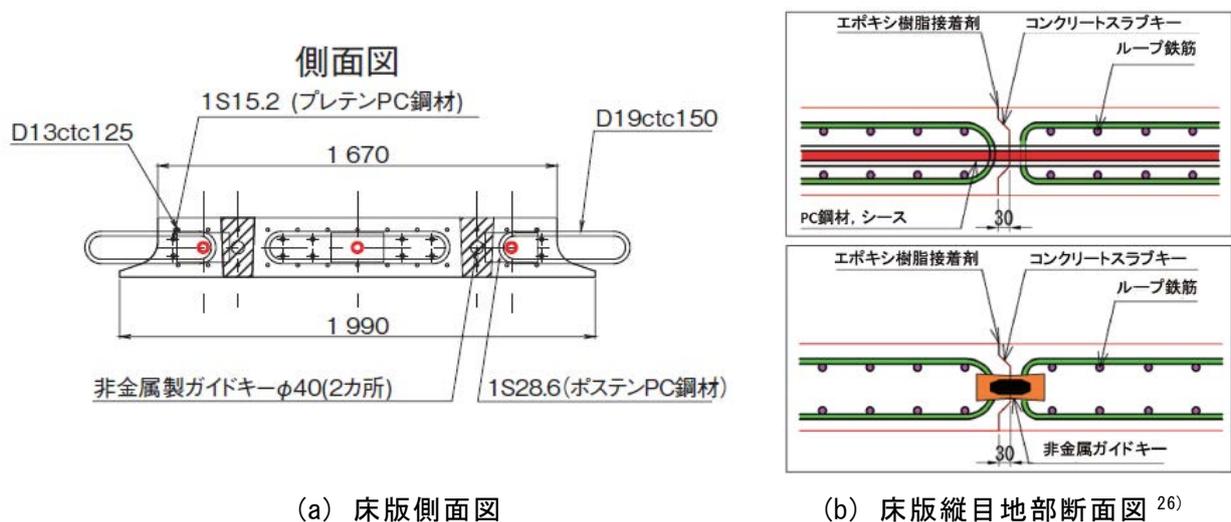


図 2.2.17 幅員方向分割取替工法用継手構造

## (2) 鋼床版

## 1) 鋼床版の特徴

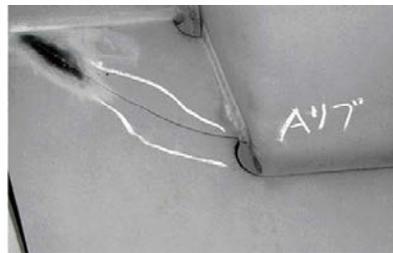
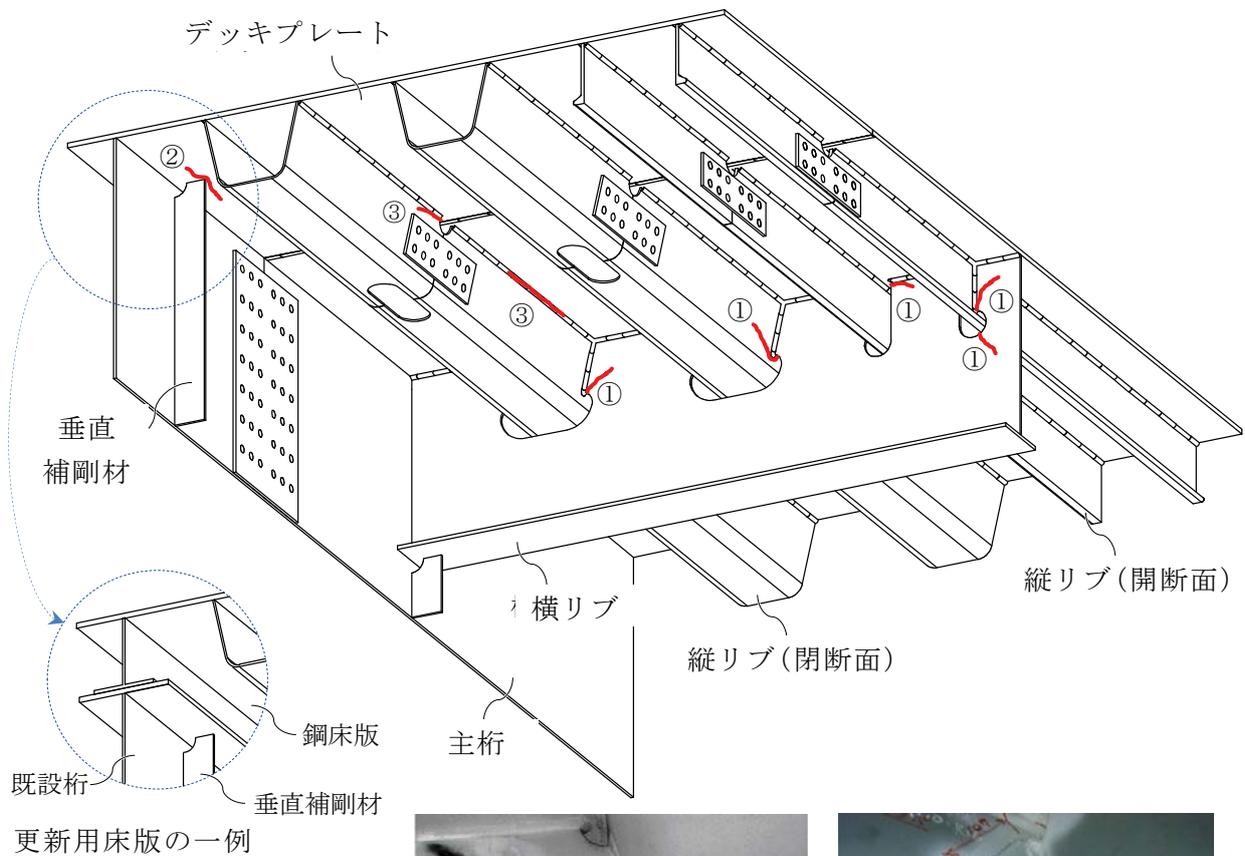
鋼床版は PC 床版などに比べて重量が約半分と軽量であり、そのため床版更新に適用すれば施工の合理化や桁に発生する死荷重応力の抑制、下部工の負担軽減が可能である<sup>27)</sup>。その一方で、鋼床版を用いる際は疲労や腐食に対して注意が必要となる。鋼床版が、比較的薄い鋼板を主に溶接によって組み立てる構造であること、その発生応力が複雑であることから、疲労損傷の予測や対策には特に注意が必要である。また、塗装などの鋼部材に対する一般的な腐食対策に加え、舗装面からの浸水防止も重要となる。そこで以下では、近年の研究を中心に鋼床版の高耐久化に関する検討について解説する。

## 2) 現状の疲労上の問題とこれまでの対策

図 2.2.18 に代表的な鋼床版の構造とその疲労き裂を示す。縦リブの断面形状は、トラフリブなどの閉断面リブと、バルブリブなどの開断面リブに大別できる。閉断面リブは比較的断面剛性が大きく、横リブ間隔を広くとることができるという特長がある一方で、リブとデッキプレ

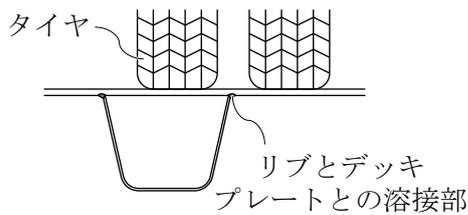
ートとの溶接部が片側からの溶接となるため、過去に建設された鋼床版ではそうした溶接部で疲労き裂が発生しやすい。

国内の都市高速道路による損傷調査結果をまとめた報告<sup>28)</sup>によれば、疲労き裂の発生個所として最も多いのは、①縦リブと横リブとの交差部（縦横リブ交差部）であり、次いで②主桁ウェブの垂直補剛材上端部とデッキプレートとの溶接部、閉断面リブを用いた場合には③リブとデッキプレートとの溶接部、縦リブ同士の継手部であった。ただし②は主桁とデッキプレートとを一体として製作する鋼床版箱桁などの構造において一般的なディテールであり、更新用床版としては②のディテールを含まない構造とすることができる（図 2.2.18 左下）。

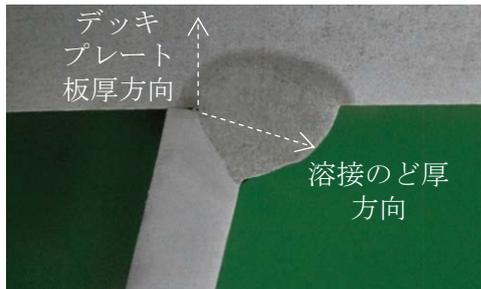


疲労き裂① 縦リブがトラフリブの場合の一例

図 2.2.18 代表的な鋼床版の構造と疲労き裂



(a) 閉断面リブ鋼床版の断面模式図



(b) 溶接部断面の例



写真 2.2.4 デッキプレート上の吊金具

図 2.2.19 リブとデッキプレートとの溶接部

縦横リブ交差部ではスリット周辺で疲労き裂が発生している。スリットは、主に製作性確保の目的で横リブにあげられたもので、スリットを設ける構造が一般的である。疲労き裂はスリット端部の横リブと縦リブとの溶接部から発生し、縦リブもしくは横リブへ進展するものや、スリット縁部から発生して横リブへ進展するものがある。

縦リブを閉断面リブとした構造では、リブとデッキプレートとの溶接部から多くの疲労き裂が発生している(図 2.2.19)。この疲労き裂は、片側部分溶込み溶接部の溶接ルート部から発生し、デッキプレート板厚方向もしくは溶接のど厚方向に進展する。閉断面リブ内部側から発生するき裂であるために発見が難しく、目視点検においては表面に貫通したのちに発見される。さらにデッキプレートを貫通し路面の変状に至るケースがあるため、注意が必要なき裂である。溶接のど厚方向に進展する疲労き裂の対策として、縦リブ板厚の 75%まで溶接を溶け込ませること、デッキプレート板厚方向に進展する疲労き裂の対策として、輪荷重下のデッキプレート最低板厚を従来の 12mm ではなく 16mm とすることが<sup>29)</sup>、道路橋示方書に示されている。

一方で縦リブを開断面リブとした構造では、縦リブとデッキプレートとの溶接部から発生した疲労き裂はほとんど見つかっていない<sup>28)</sup>。縦リブを開断面リブとした場合には該当溶接部は両側すみ肉溶接となり、片側部分溶込み溶接となる閉断面リブとは異なる。

縦リブ同士の継手部で発生する疲労き裂は、その対策として高力ボルト摩擦接合を標準とすること、その構造細目が鋼道路橋の疲労設計指針に示されている。

上述の主な疲労き裂発生箇所①～④とは別に、⑤吊金具取付け部から発生した疲労き裂も報告されている<sup>30)</sup>。吊金具は架設時に使用するもので、デッキプレート上に取り付けられる(写真 2.2.4)。これを切断除去した際に残った部分で発生した応力集中により疲労き裂が発生した例がある。

以降は、上記の①、③、および⑤吊金具取付け部での疲労耐久性を向上させるための取り組みを解説する。

### 3) 疲労耐久性を向上させるための取り組み

#### a) 縦横リブ交差部

縦横リブ交差部のスリット近傍で疲労き裂が発生しやすい要因は、縦リブと横リブとが互いの変形を拘束することにより複雑な変形状態となること、かつ図 2.2.20(a)のようにスリットがあることにより局所的な変形が生じやすいことが考えられる<sup>31)</sup>。そこで、スリット形状を工夫した構造や、スリットを廃した構造などが提案されている。縦横リブ交差部については、スリットを無くした構造を中心に、4.5節に具体的な疲労性能の評価結果などを解説している。

スリットの形状を工夫した構造や、閉断面リブ内に補剛材を設置する構造は幾つかの提案がされている<sup>32), 33), 34), 35), 36)</sup> (図 2.2.20(c))。これらの構造は主に、スリット部の剛性を下げてスリット部で変形を吸収することで、もしくは補剛リブによってスリット部近傍の剛性を調整することで、疲労き裂の起点となる応力集中を緩和したものである。その疲労耐久性に関しては多数の検討がなされており、東京ゲートブリッジをはじめ、実橋でも採用されている<sup>33), 34), 37)</sup>。

スリットを無くし、縦リブの全周を横リブと溶接した構造(図 2.2.20(b))では、縦横リブ交差部に発生する応力範囲が半分以下となり、疲労試験の結果としても設計荷重の1000万回繰返し载荷以上に相当する疲労寿命が得られたことが報告されている<sup>38)</sup>。この構造は主に、スリ

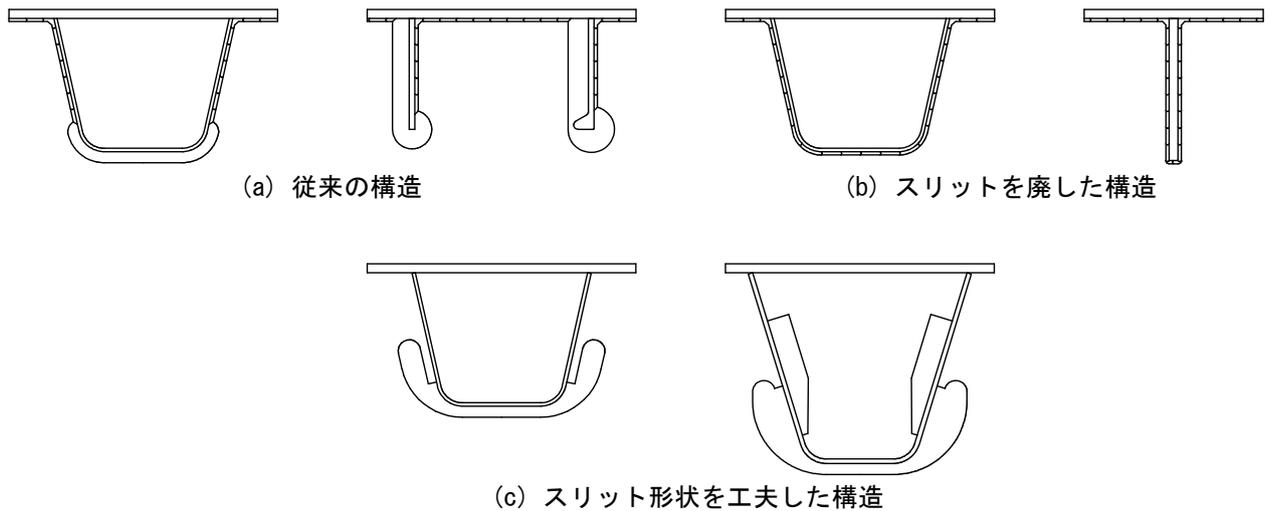


図 2.2.20 さまざまな縦横リブ交差部の構造



写真 2.2.5 縦リブに平リブを用い、スリットをなくした構造<sup>38)</sup>

ット近傍に発生する局所的な鋼板の面外変形を抑えることで発生応力を抑制したものである。本構造は、縦横リブ交差部の製作性確保が課題となったが、「取替用高性能鋼床版パネル開発研究会」による検討によって解決された<sup>38)</sup>。同研究会による開断面リブを用いた試験体の製作時には溶接ギャップを2mmと広く設定して製作性を確保したうえで、溶接ギャップを測定しながら溶接脚長をギャップ量に合わせて増加させることで溶接部の強度などが低下しないようにしている(写真2.2.5)。

#### b) リブとデッキプレートとの溶接部

開断面リブとデッキプレートとの溶接部において疲労き裂の発生を引き起こしている原因を分析した解析的検討によると、原因は主にデッキプレートの局所的なたわみと、それに伴う縦リブの変形によって発生するものであり、デッキプレートのたわみを抑えることで、効果的にき裂を抑制できることが確認されている<sup>39)</sup>。デッキプレートの板厚を厚くする対応が検討され<sup>29)</sup>、その結果などを反映して道路橋示方書では、開断面リブを用いる場合の車道部分のデッキプレートの最低板厚が従来の12mmから16mmに引き上げられた。

鋼繊維補強コンクリート(以下、SFRC)舗装による疲労対策も提案されている<sup>40), 41)</sup>。これはデッキプレートを通常より高剛性なSFRC舗装により補強することで、デッキプレートおよび鋼床版全体の剛性を高め、その結果としてリブとデッキプレートとの溶接部の疲労耐久性を向上させるものであり、主に補強方法として採用されている。

#### c) 吊金具取付け部

前述のように架設時に使用する吊金具がデッキプレート上に取り付けられることがあるが(写真2.2.4)、これを切断除去した際に残る部分で疲労き裂が発生した事例が報告されている<sup>30)</sup>。この吊金具残し部を模擬した疲労試験<sup>40)</sup>では、デッキプレート板厚が12mmの場合は吊金具残し部から疲労き裂が発生した。前記疲労試験を含む検討結果では、疲労対策としては一般的な溶接部に対するそれと同様に、グラインダー処理による溶接止端形状の改善が有効であることが確認された。一方でデッキプレート板厚16mmの場合には、吊金具残し部の高さを10mm以下とすれば疲労上問題なく、必ずしも吊金具残し部を平滑に仕上げる必要は無いことが確認された<sup>42)</sup>。ただし、デッキプレート上に溶接ビードを残すと溶接形状などによっては疲労き裂が発生しやすくなる場合も考えられるため、注意が必要である。

### 4) 腐食に対する配慮

鋼床版上の舗装補修時にデッキプレート上面が腐食していた事例が報告されている。この腐食はなんらかの要因によって舗装表面からデッキプレート上面にまで浸入した雨水が原因と考えられている。腐食が進展し、デッキプレートが減肉した場合には、減肉部直下のみの限定的な範囲ではあるが、発生応力が変化すると報告されているので注意が必要である<sup>43)</sup>。

こうした腐食によるデッキプレートの減肉を防ぐため、鋼床版上面の防水対策が必要となる。一般に鋼床版の舗装の基層には防水性能に優れたグースアスファルトを用いるが、この場合にはデッキプレート上面に直接設置する防水層は省略される。ただし、グースアスファルトは水密性が高く、舗装施工時の熱によりデッキプレート表面上に付着した水分などが膨張するブリスタリングが発生しやすいため、デッキプレートを十分乾燥させたいうえで舗装施工するなど、施工に気を付ける必要がある。また、経年と繰返し荷重によって舗装自体が劣化する、もしくはグースアスファルトとデッキプレートとの付着が切れるなど、雨水の浸入経路ができてしまう場合もあるため、注意が必要である。

鋼床版下面は、塗装などの一般的な鋼部材に対する防食が施される。塗装による防食ではボルト接合部などで塗装膜厚が確保できず、厳しい腐食環境下においてはこうした箇所から腐食

が発生・進行し、塗装剥離に至る場合もある。これに対して近年、塗装欠陥部からの腐食の広がりを抑制し、塗装寿命を延長することができる鋼材も提案されている<sup>44)</sup>。

### (3) 鋼コンクリート合成床版

#### 1) 鋼コンクリート合成床版の概要

鋼コンクリート合成床版は、鋼板または形鋼とコンクリートがずれ止めにより一体化されて荷重に抵抗するように構成された床版で、平成9年から4年間にわたり実施された土木研究所と(社)日本橋梁建設協会の共同研究「道路橋床版の輪荷重走行試験機における疲労耐久性評価手法の開発に関する共同研究」の成果により、PC床版と同様に長支間化が可能な高耐久性床版と位置づけられ、道路橋示方書にその設計手法などが掲載されている<sup>45)</sup>。RC床版やPC床版に比べて床版厚を薄くすることができるため、死荷重の低減が可能であり、床版更新に際しては、既設鋼桁に生じる応力度の抑制、下部工への負担軽減が可能である。また、コンクリートは場所打ち施工することが一般的であるが、工場やヤードで打ち込んでプレキャスト化を図ることも可能である。

#### 2) 鋼コンクリート合成床版の構造<sup>46)</sup>

鋼コンクリート合成床版は、ずれ止めの種類と底鋼板の補強方法の違いにより、ロビンソンタイプ、形鋼タイプ、トラスジベルタイプ、帯板タイプなどに分類される。

写真2.2.6に、ロビンソンタイプの例を示す。(a)の鋼板パネルは、底鋼板にずれ止めとして頭付きスタッド、補強材として鋼板リブを断続すみ肉溶接で接合したもので構成される。主鉄筋・配力鉄筋は床版上面に配置され、連続合成桁の場合は、中間支点部付近のひび割れ制御のために橋軸方向の配力鉄筋量として鉄筋比1.3%程度以上となるように追加して配置している。底鋼板の現場継手は、底鋼板上面に配置した添接板と高力ボルトによる摩擦接合継手方式を標準としている。(b)の鋼板パネルは、補強材として橋軸直角方向に設けた先打ちコンクリート梁を用いている。底鋼板の現場継手は、架設条件などに応じ、鉄筋継手方式または高力ボルトによる摩擦接合継手方式を選定している。



(a) 補強材を平鋼とした例<sup>46)</sup>



(b) 補強材をコンクリート製とした例

#### 写真 2.2.6 ロビンソンタイプの例

写真2.2.7に、トラスジベルタイプの例を示す。鋼板パネルは、底鋼板の上面に機械製造されたトラス鉄筋を橋軸直角方向に取り付けたもので構成される。ずれ止めは、底鋼板とトラス鉄筋のフレア溶接部が鋼板パネルとコンクリート間のずれ止めの役割を果たしている。底鋼板の現場継手は、底鋼板の応力伝達を考慮する場合は高力ボルトによる一面摩擦接合、底鋼板の応力伝達を考慮しない場合は底鋼板に溶接したねじスタッドによるスタッドボルト継手接合としている。

写真 2.2.8 に、形鋼タイプの例を示す。鋼板パネルは、底鋼板に形鋼をすみ肉溶接で接合したもので構成される。(a)の鋼板パネルは、側面にスタッドジベルを溶着したバルブプレートを用いたもので、スタッドジベルが鋼板パネルとコンクリート間のずれ止めの役割を果たしている。底鋼板の現場継手は、底鋼板上面に配置した添接板と高力ボルトによる摩擦接合継手方式としている。



写真 2.2.7 トラスジベルタイプの例

(b)の鋼板パネルは、溝形鋼を用いたもので、底鋼板上面に溶着したスタッドジベルが鋼板パネルとコンクリート間のずれ止めの役割を果たしている。主鉄筋・配力鉄筋は、床版上面側に配置される。

(c)の鋼板パネルは、L形鋼とCT形鋼を用いたもので、橋軸方向に配置されたL形鋼は鋼板パネルとコンクリート間のずれ止めの役割を果たし、橋軸直角方向に配置されたCT形鋼はコンクリート打込み時の補強材として有効に働くとともに、コンクリート硬化後は主鉄筋の一部としての役割も果たしている。主鉄筋・配力鉄筋は、床版上面側に配置される。底鋼板の現場継手は、底鋼板上面に配置した添接板と高力ボルトによる摩擦接合継手方式を基本としている。

(d)の鋼板パネルは、ずれ止めと補強材を兼ねる孔あきT形リブを用いたもので、リブに設けた孔に充填されたコンクリートが鋼板パネルとコンクリート間のずれ止めの役割を果たしている。主鉄筋・配力鉄筋は、床版上面側に配置される。底鋼板の現場継手は、高力ボルトによる



(a) スタッドを溶着したバルブプレートを使用した例<sup>46)</sup>



(b) 溝形鋼を使用した例<sup>46)</sup>



(c) L形鋼とCT形鋼を使用した例



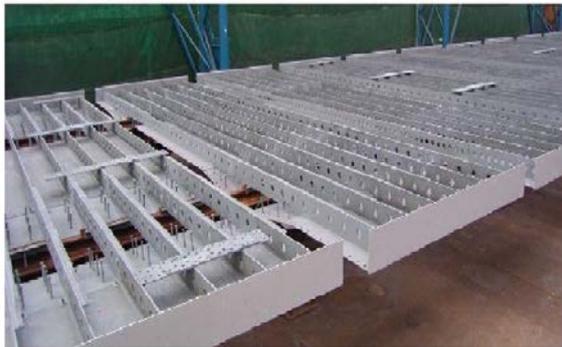
(d) 孔あきT形リブを使用した例<sup>46)</sup>

写真 2.2.8 形鋼タイプの例

一面摩擦接合を基本としている。

写真 2.2.9 に、帯板タイプの例を示す。(a)の鋼板パネルは、底鋼板にずれ止めと補強材を兼ねる孔あき鋼板リブをすみ肉溶接で接合したもので構成される。主鉄筋は孔あき鋼板リブが相当し、配力鉄筋は孔あき鋼板リブ上側に配置される。連続合成桁の場合は、中間支点部付近のひび割れ制御のために、孔あき鋼板リブの孔内に橋軸方向の配力鉄筋を追加して配置する。底鋼板の現場継手は2種類ある。一つは、スタッドボルトと添接板で底鋼板を連続させて、断面力は上下に配置した配力鉄筋で伝える継手方式である。他の一つは底鋼板上面に配置した添接板と高力ボルトによる摩擦接合継手方式である。

(b)の鋼板パネルは、底鋼板にずれ止めと補強材を兼ねる長孔あき鋼板リブを橋軸直角方向にすみ肉溶接で接合したものと、橋軸方向長孔を貫通させて配置する構造用鋼管で構成される。リブに設けた長孔に充填されたコンクリートが鋼板パネルとコンクリート間とのずれ止めの役割を果たしており、構造用鋼管を貫通配置させることによりずれ止めの効果が向上する。底鋼板の現場継手は、底鋼板の応力伝達を考慮して高力ボルトによる一面摩擦接合を標準としている。



(a) 孔あき鋼板リブを配置した例



(b) ずれ止め孔内に鋼管を配置した例

写真 2.2.9 帯板タイプの例<sup>46)</sup>

### 3) 鋼コンクリート合成床版の維持管理に関わる設計・施工上の留意事項

鋼コンクリート合成床版は、床版の高耐久化を目指して開発されたもので、RC床版と比較して高い耐久性を有しているが、コンクリート系の床版はひび割れから雨水の浸透により劣化が著しく加速することが明らかとなっているため、高い耐久性を保持するためにも、維持管理を意識した適切な品質管理が必要である。

一般にコンクリート床版は車両などによる活荷重の繰り返しによる疲労損傷、温度変化による膨張・収縮、ひび割れ内に浸透した水分の凍結・融解などのほか、鉄筋などの鋼材の腐食による鋼材の劣化やコンクリートのひび割れ、コンクリート材料の中酸化などによって劣化していく。鋼コンクリート合成床版は、底鋼板や鋼製の主部材の強度が床版強度に占める割合が高いため、活荷重に対する疲労強度は高く、輪荷重走行試験の結果からもその耐久性が確認されている。コンクリート材料の中酸化に対しても、下面が底鋼板に覆われており、大気との接触面積が非常に小さいことから、中酸化の進行は劣化としてほとんど考慮する必要がないと考えられる。

このため、鋼コンクリート合成床版の高い耐久性を維持するためには、コンクリートの乾燥収縮、クリープによるひび割れと床版内への水の浸入を防ぐことが重要である。一方、万が一

コンクリートに損傷が発生したとしても、合成床版は下面が底鋼板で覆われているため、破片が落下して第三者への二次的な災害を引き起こす恐れがないことは、鋼コンクリート合成床版の大きな特徴のひとつである。以下に、鋼コンクリート合成床版の維持管理において留意すべき事項を挙げる。

#### a) 初期ひび割れの防止

鋼コンクリート合成床版の当初建設時に、ひび割れが無く鋼部材との付着のしっかりした高品質のコンクリートを施工することが、床版の耐久性を確保するために重要である。

コンクリートは、ブリーディングによって、コンクリート施工時に沈下ひび割れやプラスチック収縮ひび割れを生じることがあり、また、コンクリート打ち込み後の乾燥収縮などが底鋼板により拘束されるため、補強材やずれ止め位置にひび割れが生じやすい。このようなひび割れの発生を抑制するために、膨張材の使用が効果的であることが確認されている<sup>47)</sup>。その効果がわかるように膨張コンクリートを用いていないものを写真 2.2.10(a)に、用いたものを写真 2.2.10(b)に示す。なお、写真 2.2.10(a)はひび割れ分布を記録するためにひび割れを油性ペンでなぞったものであり、実際のひび割れ幅は微細なものである。膨張コンクリートを使用すると、写真 2.2.10(b)のようにひび割れを抑える効果のあることがわかる。



(a) 膨張コンクリートを使用しない場合



(b) 膨張コンクリートを使用する場合

写真 2.2.10 材齢 2 年の合成床版の乾燥収縮ひび割れ<sup>47)</sup>

#### b) 防水層の設置

鋼コンクリート合成床版は、下面が底鋼板に覆われているため、水分が浸入すると完全に排水することは困難である。そのため、橋面防水による浸水の防止は必須である。施工の手順から生じることが避けられない床版コンクリートと中央分離帯や地覆部のコンクリート打ち継ぎ目は雨水が浸入する弱点となるので、このような箇所は慎重な施工を行うとともに浸水を減らすための適切な措置が必要である。補完する防水層を設置した事例を図 2.2.21 に示す。

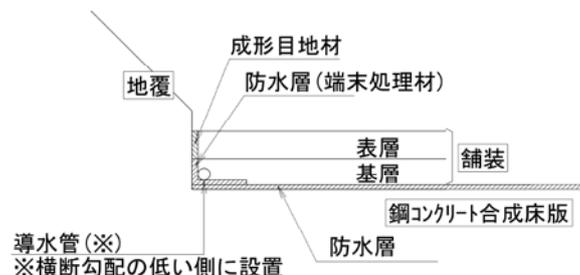


図 2.2.21 防水層の端部施工例（シート系防水）<sup>47)</sup>

### c) 滞水の防止

設計段階において床版上面における縦横断方向の排水勾配の確保や、低くなる箇所への舗装内水抜きパイプの設置など、床版上面に滞水しないように配慮することが必要である。導水管と水抜きパイプを設置した事例を写真 2.2.11、図 2.2.22 に示す。



写真 2.2.11 舗装内導水管 47) を改変して転載

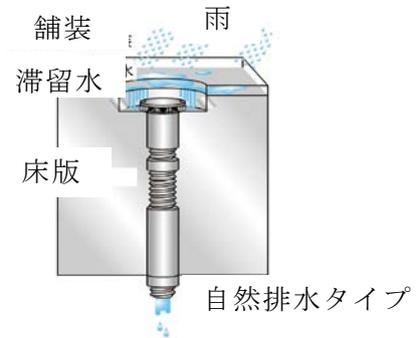


図 2.2.22 床版内水抜きパイプ 47)

### d) 底鋼板の防錆

鋼コンクリート合成床版は下面が鋼板で覆われ、また床版強度が鋼板強度に依存する割合が大きいいため、鋼板の防錆は高い耐久性を維持するために重要である。底鋼板下面の防錆は、鋼桁と同じ塗装仕様を採用するほか、熔融亜鉛メッキや金属溶射などにより耐久性の高い防錆仕様とすることも考えられる。また、鋼板パネル内面のコンクリート接触面は、ジンクリッチプライマーを塗付することが標準的であるが、寒冷地などで凍結防止剤や融雪剤が散布される地域では、溜水が生じた場合の底鋼板の腐食対策として、厚膜のポリマーセメント系材料などによる内面塗装を行うことも実施されている（写真 2.2.12）。



写真 2.2.12 底鋼板防食仕様の例 47)

## 4) 鋼コンクリート合成床版の維持管理

鋼コンクリート合成床版は底鋼板を有するため、床版下面のコンクリートのひび割れを直接目視することが出来ないことが維持管理上の課題となる。鋼コンクリート合成床版を対象とした水張り状態の輪荷重走行試験では、①ひび割れからの水の浸入、②ひび割れからのセメント成分の遊離と床版上面へ凍結防止剤などの物質の堆積、③床版下面からの漏水、④コンクリートの砂利化、⑤押抜きせん断ひび割れの発生、という劣化損傷の経過が観察されている。このような現象は、重大な劣化状態に至る前の段階で、舗装の変状など上面からの観察によってある程度推察できると考えられる。また、鋼コンクリート合成床版の疲労損傷はその構造にも関連があると考えられ、既往の研究によれば、スタッドの疲労破断、コンクリート内部の頭付きスタッド、補剛リブ、上側鉄筋などを起点とした水平ひび割れなど、鋼コンクリート合成床版タイプ特有の損傷が確認されている。

このため、鋼コンクリート合成床版の維持管理にあたっては、劣化機構を推定した上で性能評価の目的に応じた適切な点検、調査を行う必要がある<sup>48)</sup>。

## 参考文献（2.2 床版の構造形式と耐久性向上）

- 1) 土木学会：FRP 橋梁 - 技術とその展望 - ，構造工学シリーズ 14，構造工学委員会・FRP 橋梁研究小委員会編，pp.152-156，2004.
- 2) 日本道路協会：鋼道路橋設計便覧，1980.
- 3) 佐藤彰紀，黒田孝志，藤代勝，齋藤公生：既設道路橋の床版取替えにおける平板型 UFC 床版の適用，プレストレストコンクリート工学会，第 27 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.201-204，2018.
- 4) 若林大：更新床版の凍結防止剤による塩害に対する照査方法，プレストレストコンクリート，Vol.60，No.1，pp.51-55，2018.
- 5) 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，pp.106-110，2018.
- 6) 国土交通省国土技術政策総合研究所：道路橋を通過する車両の重量予測プログラム BWIM 取扱説明書，<http://www.nilim.go.jp/japanese/technical/bwim/BWIM.html>，2011.
- 7) 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，p.24，p.76，2018.
- 8) 長尾千瑛，広瀬剛：プレキャスト PC 床版継手の疲労耐久性照査試験，プレストレストコンクリート工学会，第 26 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.189-192，2017.
- 9) Paweena Jariyathitipong 藤井隆史，細谷多慶，綾野克紀：高炉スラグを用いたコンクリートの塩害環境下における凍結融解抵抗性に関する研究，Cement Science and Concrete Technology，Vol.67，pp.427-433，2013.
- 10) 井上真澄，森将，岡田包儀：有機短繊維と高炉スラグ微粉末がコンクリートの耐凍害性に及ぼす影響，Cement Science and Concrete Technology，Vol.67，pp.393-398，2013.
- 11) 子田康弘，岩城一郎：大型環境試験装置を用いた RC 部材のスケーリング劣化に関する実験的検討，Cement Science and Concrete Technology，No.64，pp.383-390，2010.
- 12) 高山千晶，早坂洋平，宮本慎太郎，皆川浩，久田真：凍結防止剤の浸透，輪荷重の載荷及び凍結融解の複合作用がコンクリートのスケーリングに及ぼす影響，日本材料学会，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，第 16 巻，pp.387-392，2016.
- 13) 大竹康広，横田弘，橋本勝文：凍害環境下における凍結防止剤由来塩分の固定化に及ぼす混和材の影響，Cement Science and Concrete Technology，Vol.67，pp.421-426，2013.
- 14) 大濱浩二，向井大吾，石井博典，樫村康介，石田哲也，田中泰司：高炉セメントを用いたコンクリートによる高耐久床版の施工一新気仙大橋一，建設図書，橋梁と基礎，2017-2，pp.41-46，2017.
- 15) 宮下剛，鈴木康弘，皆田龍一，立花幹雄，後藤慎治：フライアッシュコンクリートを用いた高耐久床版の施工と品質向上の取り組み一浪板橋一，建設図書，橋梁と基礎，2017-2，pp.34-39，2017.
- 16) SIP インフラ 維持管理・更新・マネジメント技術「道路インフラマネジメントサイクルの展開と国内外への実装を目指した統括的研究」：凍結抑制剤散布下における RC 床版の耐久性確保の手引き（案），2016.
- 17) NEXCO 西日本ホームページ：<https://corp.w-nexco.co.jp/corporate/release/hq/h29/0629c/>，三井住友建設ホームページ：<https://www.smcon.co.jp/topics/2017/062919423/>
- 18) 福田雅人，芦塚憲一郎，狩野武，三加崇：超高耐久床版の疲労耐久性に関する実験的検討，

- プレストレストコンクリート工学会，第 26 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.555-558，2017.
- 19) 東・中・西日本高速道路株式会社：設計要領 第二集 橋梁保全編，2019.
  - 20) 松井繁之，角昌隆，向井盛夫，北山耕造：RC ループ継手を有するプレキャスト PC 床版の移動載荷試験，プレストレストコンクリート工学会，第 6 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.149-154，1996.
  - 21) 大谷悟司，阿部浩幸，中村雅之，原健悟：新しい RC 接合構造を用いたプレキャスト PC 床版の輪荷重走行試験，プレストレストコンクリート工学会，第 16 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.191-194，2007.
  - 22) オリエンタル白石ホームページ：[http://www.orpsc.co.jp/tec/pdf/e\\_slj.pdf](http://www.orpsc.co.jp/tec/pdf/e_slj.pdf)
  - 23) 北川学，真田修，倉田朋和，山岸俊一：東名高速道路 用宗高架橋（下り線）床版取替え工事—施工について—，プレストレストコンクリート工学会，第 26 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.403-406，2017.
  - 24) 笹井幸男，松本吉正，佐藤雅則，奥谷祐介：中央自動車道古川渡橋の設計と施工—プレキャスト PC 床版による鋼橋 RC 床版の取替工事—，プレストレストコンクリート工学会，第 4 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.177-180，1994.
  - 25) 光田剛史，木原通太郎，久米将紀，山浦明洋，白水晃生，松井繁之：西名阪自動車道御幸大橋（上り線）におけるプレキャスト PC 床版継手の開発および急速施工，土木学会，第七回道路橋床版シンポジウム論文報告集，pp.31-36，2012.
  - 26) 大柳修一，大林敦裕：既設床版の半断面床版取替工法の開発（輪荷重疲労載荷試験），株式会社ピーエス三菱 技報第 13 号，2015.
  - 27) Wolchuk, R. : Application of orthotropic decks in bridge rehabilitation, Eng. J., 24(3), pp.113-121, 1987.
  - 28) 土木学会：鋼床版の疲労[2010 年改訂版]，鋼構造シリーズ 19，鋼構造委員会鋼床版の疲労改訂小委員会編，2010.
  - 29) 国土技術政策総合研究所，土木研究所，日本橋梁建設協会：損傷状況を考慮した鋼床版の構造形式見直しに関する研究，国土技術政策総合研究所資料第 608 号，2010.
  - 30) 日本鋼構造協会：鋼橋付属物の疲労，JSSC テクニカルレポート，No.81，2008.
  - 31) 三木千壽，館石和雄，奥川淳志，藤井裕司：鋼床版縦リブ・横リブ交差部の局部応力と疲労強度，土木学会論文集，No.519/I-32，pp.127-137，1995.
  - 32) Taskopoulos et.al (2003): J. Bridge Eng., 8(5), pp.323-333, 2003.
  - 33) Serzan et.al (2004): Proc. First Int. Orthotropic Bridge Conf., pp.177-188, 2004.
  - 34) Baker et.al (2004): Proc. First Int. Orthotropic Bridge Conf., pp.762-772, 2004.
  - 35) Saganuma, H., Miki, C. : Full size fatigue tests of the new orthotropic steel deck system, IIW document, XIII-2164-07, 2007.
  - 36) 杉山裕樹，田畑晶子，春日井俊博，石井博典，井口進，清川昇悟，池末和隆：鋼床版の U リブ—横リブ交差部における下側スリット部の疲労耐久性向上構造の検討，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol.70，No.1，pp.18-30，2014.
  - 37) 森永真朗，磯上知良，千葉照男：東京港臨海大橋（仮称）における技術開発とコスト縮減（第 3 回）上部工の構造検討（2），建設図書，橋梁と基礎，Vol.42，No.10，pp.40-45，2008.
  - 38) 横関耕一，横山薫，石井博典，江崎正浩，渡邊俊輔，三木千壽：取替用高性能鋼床版パネルの開発，建設図書，橋梁と基礎，51(5)，2017.

- 39) 三木千壽, 菅沼久忠, 富澤雅幸, 町田文孝: 鋼床版箱桁橋のデッキプレート近傍に発生した疲労損傷の原因, 土木学会論文集, No. 780/I-70, pp. 57-69, 2005.
- 40) 小野秀一, 平林泰明, 下里哲弘, 稲葉尚文, 村野益巳, 三木千壽: 既設鋼床版の疲労性状と鋼繊維補強コンクリート敷設工法による疲労強度改善効果に関する研究, 土木学会論文集 A, Vol. 65, No. 2, pp. 335-347, 2009.
- 41) 土木研究所: 鋼床版橋梁の疲労耐久性向上技術に関する共同研究(その2・3・4) 報告書-SFRC 舗装による既設鋼床版の補強に関する設計・施工マニュアル(案)-, 2009.
- 42) 井口進, 内田大介, 鄭暎樹, 貝沼重信: 鋼床版上面の架設用吊金具残し部の疲労耐久性に関する実験的検討, 日本鋼構造協会, 鋼構造論文集, Vol. 24, No. 93, pp. 73-81, 2017.
- 43) 青木康素, 石川敏之, 河野広隆, 足立幸郎: 鋼床版デッキプレート腐食部に対する片面からの当て板接着補修の提案, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 72, No. 1, pp. 263-278, 2016.
- 44) 上村隆之, 鹿島和幸, 菅江清信, 幸英昭, 工藤赳夫: 塗膜欠陥部を有する Sn 添加鋼の耐食性, 材料 (Journal of the Society of Materials Science, Japan), Vol. 62, No. 3, pp. 207-212, 2013.
- 45) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, II 鋼橋・鋼部材編, pp. 284-323, 2017.
- 46) 日本橋梁建設協会: 鋼・コンクリート合成床版の計画資料(設計例と解説), 2012.
- 47) 日本橋梁建設協会: 鋼・コンクリート合成床版 維持管理の計画資料, 2007.
- 48) 土木学会: 鋼コンクリート合成床版設計・施工指針(案), 複合構造シリーズ 07, 2007.

## 2.3 主桁の設計照査と施工方法

### 2.3.1 荷重増加への対応

RC 床版の設計基準は 1.2 節に記すように床版厚さ、主鉄筋量、配力鉄筋量、設計活荷重などの見直しが行われ、既設橋梁の RC 床版は縦桁補強や床版厚の増厚などの対応が必要となった。このように後からの補強で加えた部材による増加荷重は、RC 床版の取替とともに取り除くことができるので主桁の設計照査において負荷軽減に働く。一方、既設の RC 床版は現行基準の床版厚と比較して薄いため、更新する床版の荷重が予定通りに減らない可能性がある。道路の幅員拡張など機能の向上を図る場合は、死荷重の増加は避けられない。また、未だ補強されていない橋梁で特に発生断面力に活荷重の占める割合が大きい支間長が短い橋梁などは、RC 床版取替に伴う上部工の B 活荷重による照査により主桁等に補強が必要となる場合がある。活荷重の照査によるほか、現行基準による疲労や耐震性能などの照査により既設橋梁では補強が必要となる場合がある。このような RC 床版更新と上部工の補強などによる荷重の増加は、それを支える支承や下部構造の常時および地震時に悪影響を及ぼす可能性がある。

このように橋梁全体系の安定性に影響を及ぼす可能性がある床版更新において、上部工の照査と補強の様々な考え方や方法を知っておくことは設計実務に役に立つと考えられる。床版更新にあたり既設鋼主桁の照査や補強は道路橋示方書に準拠することとなるが、実務においては新たな製作を想定する道路橋示方書の前提に当てはまらない案件に出会うことは少なくない。そのような時は、既往の試験結果や文献などから様々な知見を得て対応することとなる。例えば、既設主桁などの照査に行き詰った時に、設計検証として抵抗側あるいは作用側の基準量（許容応力度、活荷重量など）と実際に生じる量とを比較することがある。応力頻度測定、実車載荷実験あるいは FEM 解析はそのような場面で用いられることが多い。そこで得られる情報は照査結果と合わせ、主桁の補強、無補強、更新あるいは合成構造の採用などの設計の方向性を定めるために参考にされるが、その時に役に立つのが既往の知見である。

2.3.1 項は、RC 床版更新に伴う上部構造の照査や補強方法の参考になる各団体が示した鋼橋の耐力等に関する考え方を整理した。これらの考え方は、これまでに行われた解析や実験から導かれたものであり、着目点や考え方は照査や補強の際に解決へのヒントとなるが、一般化されたものではないので注意する必要がある。

#### (1) 補強と無補強の考え方

応力度の改善のために孔を空けたり溶接をして鋼板などを取り付けることがあるが、補強することによって改善される部位がある一方、改悪になる部位が生じるあるいは考えているほどの効果が生じない可能性がある。1972 年の鋼道路橋施工便覧（日本道路協会）<sup>1)</sup>には、許容応力度で設計された構造物の特徴を意識した補強と無補強の考え方が記されている（図 2.3.1）。

<p><b>9—2—3 設計上の注意</b></p> <p>(1) 現橋に手を加えることは、非常是不経済な工事をしてしまうことにもなりかねないので、その判断は慎重を期さなければならない。</p> <p>(2) 補強工事または、歩道などの添加を行なう場合、現在の荷重系と許容応力度を用いて計算し、引張材については、30%圧縮材については 20%程度の許容応力度の超過程度ではむしろ部材の補強を行なわないのが良い。ただし鋼橋脚など地震で部材が決まる場合は、地震時の割増(70%)をさらに割増することができないのは当然である。</p>
--

図 2.3.1 補強と無補強の考え方 <sup>1)</sup>を改変して転載

### (2) 非合成連続桁の中間支点付近の合成度

設計と実挙動とを整合させることは大切であるが、床版においては主桁と床版の合成度合いを正しく評価することが重要である。PC 床版設計・施工マニュアル(案) (PC 建設業協会)<sup>2)</sup>、PC 床版設計の手引き (日本橋梁建設協会)<sup>3)</sup>は、非合成桁の連続桁中間支点付近に対して静的載荷試験の結果から弾性合成を考慮できる (完全合成の 6 割程度) としている (図 2.3.2)。

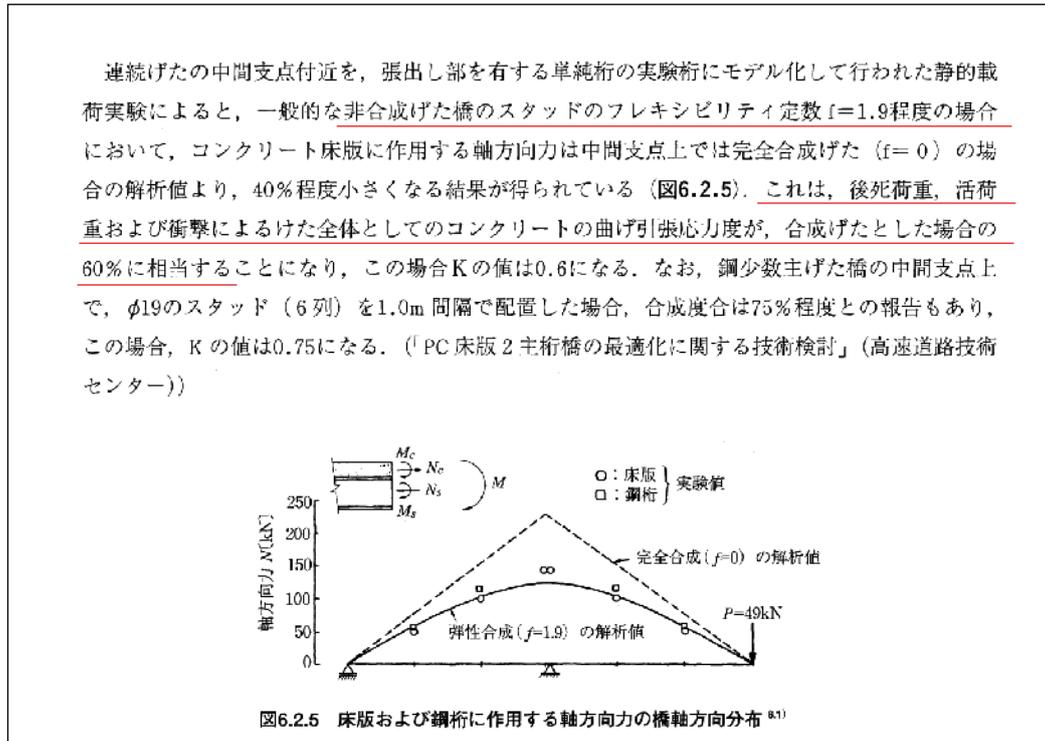


図 2.3.2 非合成連続桁中間支点付近の合成度<sup>2), 4)</sup>を改変して転載

### (3) FEM 解析を用いた応答値の算定

主桁照査において、一般に用いられる格子解析による照査では、コンクリート床版による荷重分配作用などが考慮されない。実測応力度と合成桁として格子解析により算定した応力度の比は 0.5~0.8 程度と乖離がある一方で、3次元 FEM 解析を用いて実構造の合成を適切に反映することで、実測応力度と 3次元 FEM 解析で算出された応力度の比は 0.9~1.1 程度とほぼ同等の結果が得られることが示されている (図 2.3.3)<sup>5)</sup>。それを踏まえて、プレキャスト PC 床版による道路橋更新設計施工要領 (プレストレストコンクリート工学会)<sup>6)</sup>は、主桁照査にあたっては必要に応じて FEM 解析などの詳細な解析手法を用いて応答値を算定するのが良いとしている (図 2.3.4)。

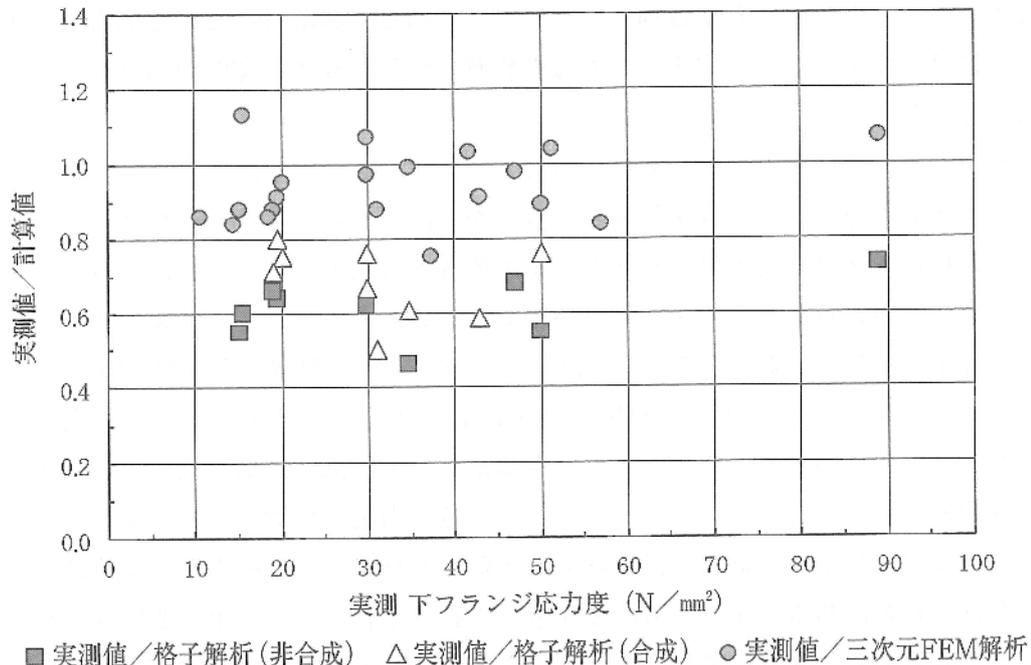


図 2.3.3 格子解析の計算値と主桁に生じる実応力<sup>5)</sup>

**5.2.2 主桁照査の基本方針**

(1) 床版更新工事においては死荷重増や活荷重増に対して、主桁の照査を行わなければならない。また建設時の架設方法により断面力が異なることに留意しなければならない。

(2) 主桁照査時の荷重は、道路橋示方書に示される荷重値を用いることを基本とし、大型車が著しく多い路線では、調査結果に基づき活荷重などの変動作用による作用修正係数を定めるなど、道路管理者が現状を考慮して適切に設定するものとする。

(3) 主桁照査にあたっては、必要に応じて FEM などの詳細な解析手法を用いて応答値を算定するのがよい。これにより、既設桁への影響を考慮し、なるべく補強が出ないように残存性能を適切に評価する。

(4) 非合成桁では、鋼桁と床版が合成桁とみなせる挙動を示すことを考慮のうえ、照査するのがよい。

(5) 設計荷重に対する主桁の応力度照査に加え、主桁の疲労照査をあわせて実施する。

図 2.3.4 FEM 解析を用いた応答値の算定<sup>6)</sup>を改変して転載

#### (4) 25t 車両通過時の主桁応力

活荷重の変更に伴う主桁の補強要否が問題となるが、既設橋梁の耐荷力照査実施要領（案）（道路保全技術センター）<sup>7)</sup>では、「計算上で応力が超過する場合は応力頻度測定を行い、主桁補強の要否を判断する」としている。

### (5) Load Rating の考え方

アメリカにおける橋梁の設計法は AASHTO LRFD (荷重抵抗係数法) であり, 橋梁保全においての点検・評価に関しては, 1967 年に 40 名以上の犠牲者を出したアイバーを用いた吊橋であるシルバー橋の落橋を契機に NBIS, NBI, MBE が整理された.

- NBIS : National Bridge Inspection Standards, 点検, 状態評価(ランク付け)の示方書
- NBI : National Bridge Inventory, 橋の状態データ保存
- MBE(AASHTO) : Manual of Bridge Evaluation, 橋の状態評価のマニュアル

AASHTO LRFR (Rating) は, NBIS, NBI とともに全国橋梁点検プログラム (NBIP: National Bridge Inspection Program) と関連付けられており, 信頼性理論がベースとなっている.

AASHTO MBE で定める Load Rating の特徴は, 定期点検と同時に Load Rating が義務付けられているため, 設計時とは異なる目標信頼性指標と荷重係数を用いて供用時の耐力評価が行われることである<sup>8)</sup>. 国内には MBE に該当する状態評価方法はないが, 橋梁に作用する常時の活荷重に対して何倍の耐荷力があるかを表す Load Rating 式 2.3.1 の考え方は, 旧規定で設計された橋梁が現行規定下でどのような状態であるかを知るために参考になる.

$$RF = \frac{C - \gamma_d D}{\gamma_L (LL + IM)} \quad (\text{式 2.3.1})$$

ここで,  $RF$ : Rating Factor,  $C$ : 耐力,  $D$ : 死荷重効果,  $LL$ : 活荷重効果,  $IM$ : 衝撃  
 $\gamma_d$ : 荷重係数 (死荷重),  $\gamma_L$ : 荷重係数 (活荷重)

既設橋梁は, 部材に生じる応力が許容応力  $\sigma_a$  以下になるように設計されており, 応力制限値  $\sigma_{tud/cud}$  により設計される現行の道路橋示方書と異なる. 現行規定は, それぞれの限界状態において安全の余裕や機能状態を多段階に確認する設計手法を取り入れ, 部分係数設計法を用いた合理的な設計を可能としている. 既設橋梁にどの程度の活荷重の余裕があるかを知るためには, 具体的に計算を行わなければならないが, Load Rating を知ることは, 既設橋梁の補強設計あるいは補強の要否の判断材料となる可能性がある.

### 2.3.2 施工方法の選定

床版更新では、採用する床版の構造やその断面寸法と重量、交通規制の状態、鋼上部工の構造形式、鋼桁補強の要不要と必要である場合の施工方法とそのタイミングなどを総合的に勘案して施工計画を決定する必要がある。図 2.3.5 に床版更新のフローチャートの一例を示す<sup>9)</sup>。床版更新の主となる工種は、道路交通規制、鋼桁補強、床版撤去、床版架設、橋面工となる。

準備工では、対象となる既設橋の図面や設計計算書などの設計データを収集し、更新する床版と更新後の橋梁全体系の照査を行い、主桁の補強の有無を検討する。現場作業においては、まず、道路交通を規制する。そして、床版を切断撤去し、新たな床版を架設する。最後に橋面工を施工し、交通規制を解除する。

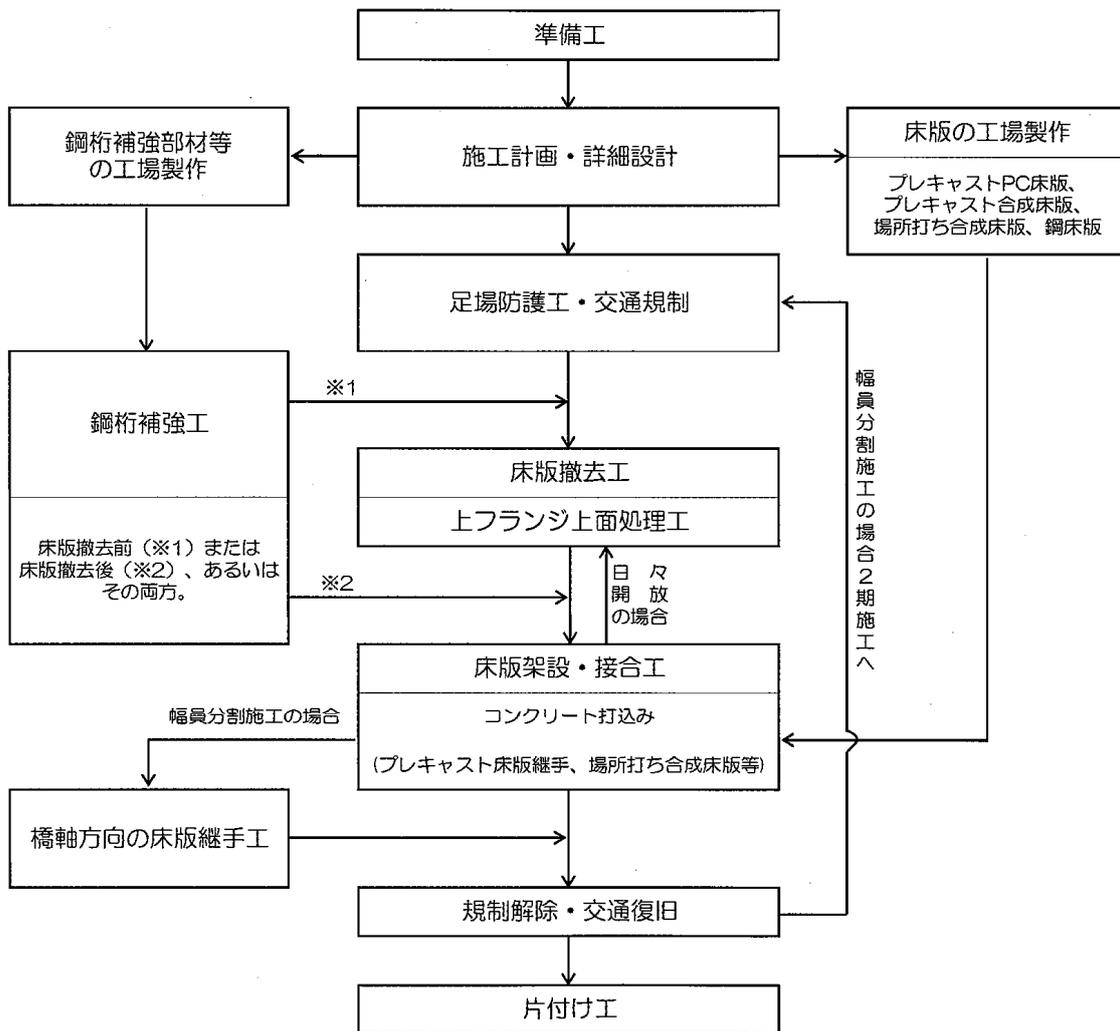


図 2.3.5 床版更新の施工フローチャート<sup>9)</sup>

最も施工事例の多いプレキャスト PC 床版に更新する施工方法のフローチャートを図 2.3.6 に示す<sup>9)</sup>。図は 2 枚に分かれており、図 2.3.6(a)から図 2.3.6(b)へ施工フローが流れる箇所は  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  としている。なお、道路規制が必要となる工種は、図 2.3.6 の 5 から 24 までとなる。また橋軸方向へ PC 鋼材にて緊張するときにも交通規制は必要となる。プレキャスト PC 床版については 2.2.3 項を参照されたい。

施工は既設 RC 床版を撤去した後に新たな床版を構築していくこととなる。したがって施工では床版の撤去，その搬出と搬入，床版の構築が中心的な作業となる。ここでは，床版の搬出とプレキャスト床版の搬入や架設に用いる施工機械について解説する。

プレキャスト PC 床版の運搬では一般的にセミトレーラーが用いられる。プレキャスト PC 床版の寸法は，一般的に設計条件、輸送条件、架設条件によって決定される。床版幅が 1.7m 程度，長さが 11m 程度，厚さが 22 cm 程度，重さが 10 トン以下となる場合には，セミトレーラーの積載重量より 2 枚/台で輸送される。写真 2.3.1 にプレキャスト PC 床版の輸送状況を示す。



写真 2.3.1 プレキャスト PC 床版の輸送

次に，床版の撤去・架設作業は，写真 2.3.2 のとおりラフタークレーンやトラッククレーンを橋梁上に配置し実施される。



写真 2.3.2 クレーンによる床版架設

急速施工が求められる場合などでは写真 2.3.3 のとおり 2 台のクレーンを用いるなど，複数パーティにて撤去・架設作業が実施される。複数パーティによる施工では基本的にクレーンは床版更新区間の中央に配置し，その後両端に向かって床版の更新を行うことが一般的である。これは，間詰めの床版コンクリートをまとめて打設する方が効率的で，間詰めに打設して一体化するまでクレーンを載せられないためである。



写真 2.3.3 複数クレーンによる床版の施工

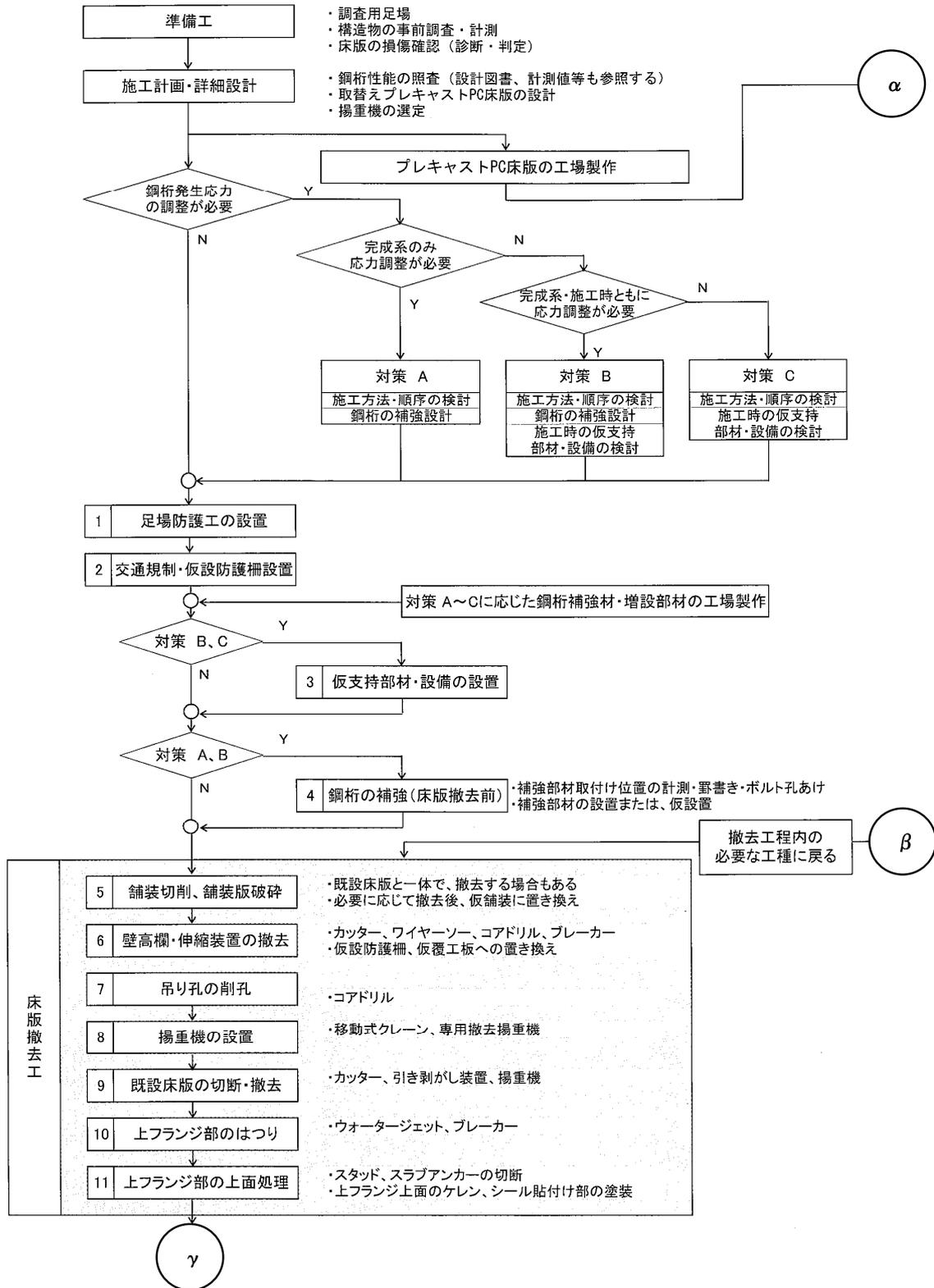


図 2.3.6(a) プレキャスト PC 床版更新のフローチャート 9) を改変して転載

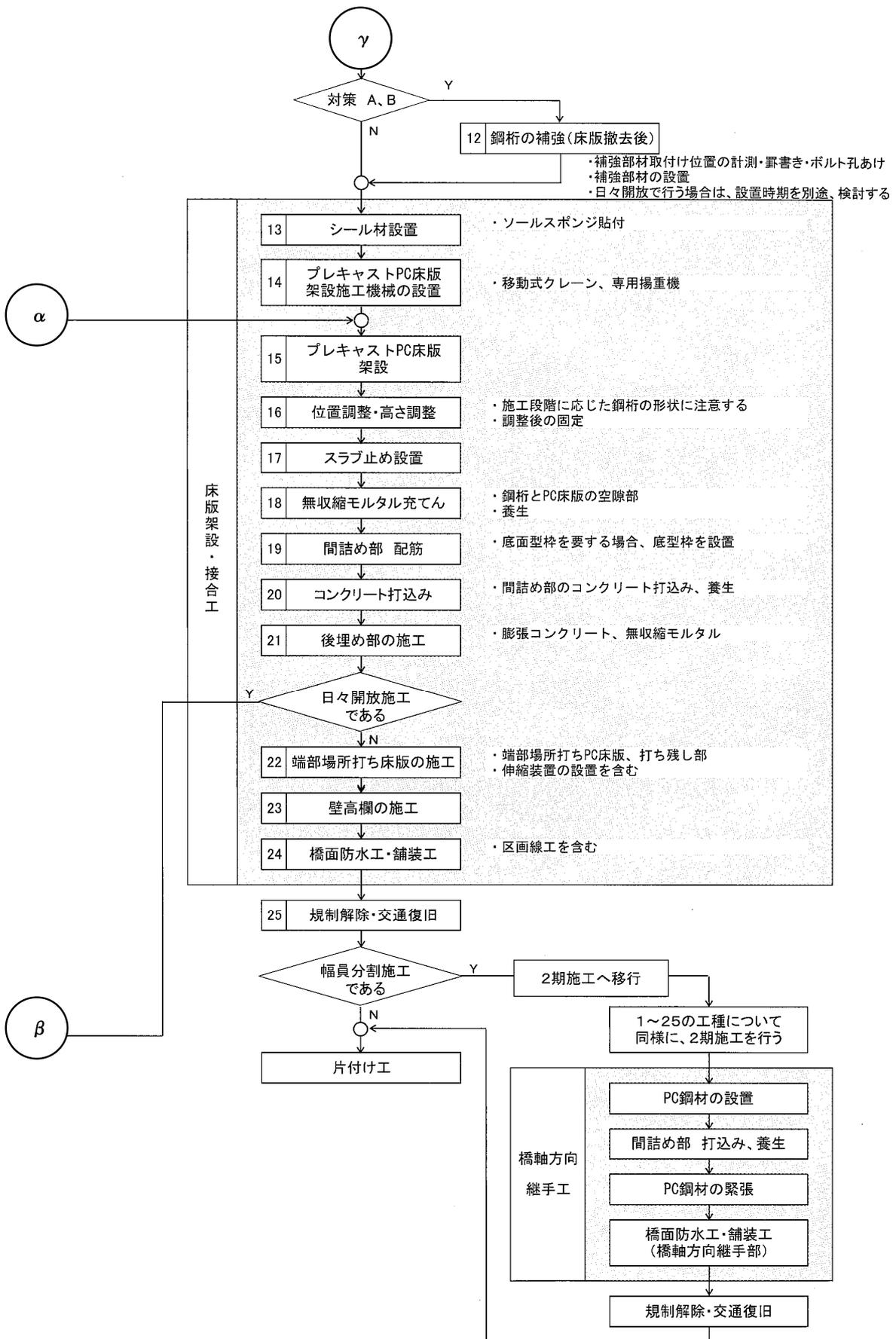


図 2.3.6 (b) プレキャスト PC 床版更新のフローチャート 9) を改変して転載

トラッククレーンの場合、吊り荷を旋回させることになるが、通行中の車線の上空に吊り荷を通過させることはできない。このような場合には特殊なクレーンが用いられる。複数の車線をまたぐ門型クレーンによる床版の施工を写真 2.3.4 に、1 車線を対象とした門型クレーンによる床版の施工を写真 2.3.5 に示す。

これら門型クレーンを用いた架設の場合、クレーン本体や吊り荷の荷重、アウトリガーの反力等を考慮して施工時荷重に対する床版や主桁の安全性の照査を行う必要がある。

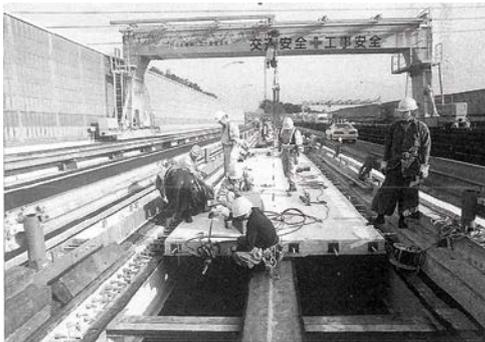


写真 2.3.4 門型クレーンによる  
床版の施工（その 1）



写真 2.3.5 門型クレーンによる  
床版の施工（その 2）<sup>10)</sup>

隣接する用地や河川敷、通行止め規制を実施した隣接橋梁など、更新対象橋梁の外にクレーンを配置できる場合には、施工パーティ数を複数配置することや、交通規制を日々解放する場合に有利となる。その状況を写真 2.3.6 と写真 2.3.7 に示す。



写真 2.3.6 橋梁外からのクレーンによる  
床版撤去と架設

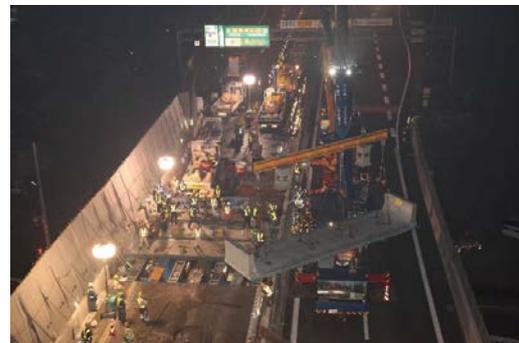


写真 2.3.7 橋梁外からのクレーンによる  
床版撤去と架設

### 2.3.3 設計条件と施工との整合

複雑な施工ステップで行われる RC 床版更新においては、設計で考慮している施工ステップ（どのタイミングでボルト締めするなど）通りか、また、仮設材や機材を含む実際の重量が設計で想定した重量を超えていないかなど、例えば仮設材に設計通りの荷重が作用しているかなど、設計条件と施工条件とが整合しているかどうか注意する必要がある。整合がとれない可能性のある事項として以下のことが考えられるので、設計・施工の際に必要なに応じて確認・検証すると良い。

- 1) 解析ステップと施工ステップ
- 2) 既設床版撤去と新設床版設置時におけるキャンバー量
- 3) 線形データ※<sup>1)</sup>

- 4) 分割施工における活荷重の影響※2
- 5) 床版撤去時の桁の安全性や補強材の有無
- 6) 桁下における支保工の設置位置
- 7) スタッドの切断方法やタイミング

※1 線形データ（竣工図書，設計計算書）がない場合，計画路面の復元・設定について近年，3D レーザースキャナ測量を実施して復元している工事がある。

※2 分割施工においては活荷重の影響により，新設・既設部のキャンバーが不整合となり橋軸方向の接合がうまくいかない場合がある。

#### 2.3.4 振動・騒音など周辺環境への配慮

RC 床版の撤去では騒音や振動等を抑えるためにダイヤモンドブレードを機械に取り付けたソーイングマシンにより床版を分割した後，ジャッキで鋼桁のフランジから床版を分離する方法が一般的に用いられる。騒音・振動を抑えてコンクリートを切断する方法としてワイヤーソーを活用した技術開発も行われている。これらについては，4.7 節を参考にすると良い。吊足場上でのブレードやワイヤーソーの使用に関しては，切断時の水の処理が課題になることがあったが，近年，バキュームの併用による方法や水を使わない方法が開発され改善されている。

#### 2.3.5 地理・地形・地域的な制約

架設ヤードの確保が困難な地形（市街地あるいは河川，運河，山間部），道路，河川，鉄道などの交差部（跨道橋，跨線橋含む），支持力の取れない軟弱地盤，架空線・添架管・埋設管などの障害物がある場所での施工は，施工条件を満たすために対策に多くの時間を要するだけでなく，近接協議，移設協議，交通規制に関わる警察協議などに時間を要するため，十分な検討時間を見込んでおく必要がある。また，鉄道や高速道路上の工事では，一部あるいは全部を安全運行面での配慮から事業者へ委託する必要がある。障害物の移設では，特に光ケーブルなどの通信関係や特殊な電線は移設に1年以上の時間を要することがあり，また，河川での施工は非出水期施工（11月～5月）となること，漁業組合や船舶との調整が必要になることから，工程作成時点で周到な計画が必要となる。そのほか，法令上必要になる手続きがでてくるので見落さないように注意する必要がある。

施工面では，作業足場や更新用床版などの資材供給を道路側から行う必要がある，その場合，道路の通行制限が生じる。また，道路や鉄道が桁下を通過している場所では，クレーンの吊り荷がこれらの上空にこないようにすることが求められることが多い。路面上空に高圧線などの障害物が比較的近い位置にある場合，一般的なクレーンが使えず，上空への占有が少ない門型クレーンにより施工する事例もある。

#### 2.3.6 設計図書等の情報不足への対応

道路橋示方書 I 共通編<sup>11)</sup>の12章記録には，設計や施工の記録がその橋梁の供用期間中，保管するよう規定されている。しかしながら，過去の技術基準類に基づき設計・施工され供用している橋には，これらの記録が全く残されていないものも存在している。こうした橋梁の床版更新を行う場合には，表 2.3.1 に示すように測量や計測，コア採取などにより情報の復元が必要になる。調査は部位，材料種別により様々な方法があるので，最新の知見，技術を用いて必要なものを詳しく調べて再現する必要がある。

表 2.3.1 情報不足への対応

分類	細目	情報が必要な理由	対応事例
幾何構造	縦断・横断勾配	線形復元, 計画高設定	測量, 三次元計測, 復元計算
	斜角・曲線	線形復元, 計画高設定	測量, 三次元計測
構造諸元	床版幅	死荷重算定, 計画高設定	測量, 三次元計測
	床版厚	死荷重算定, 計画高設定	貫通コアによる計測, 測量, 三次元計測
	ハンチ形状	死荷重算定, 計画高設定	測量, 三次元計測
	ずれ止め形式・形状・間隔	構造形式(合成・非合成)の判定	復元計算
使用材料	鉄筋径・間隔,	床版耐力算定	はつりによる内部鉄筋の確認, 鉄筋探査, 復元設計
	コンクリート強度	床版耐力算定	コア採取による圧縮強度試験
工事履歴	補修・補強材料	床版耐力算定, 施工計画	測量, 復元計算
添架物	管路 (外付け・埋設)	関係機関協議, 施工計画	計測, 内部探査

対策事例として、実構造物に対する計測や非破壊（微破壊）調査（写真 2.3.8）を行うことで補完するが、設計段階では近接できる足場がある状態での確認ができないため、既設構造の状態、出来形を完全に把握することは困難なことが多い。その場合は、現地に足場が架けられた後に調査は行われる。

なお、竣工図面に関しては、管理者で保有している他、施工会社で保管されていることもあるため、橋歴板や橋梁台帳で特定することができれば、ヒアリングすることも有効である。



(a) 計測状況



(b) 鉄筋探査状況

写真 2.3.8 既設床版に関する情報収集の事例

### (1) 形状調査

対象橋梁に関する設計図書の有無に関わらず、床版更新を行うのであれば、設計施工に先立ち形状調査を行うことが必要となる。架橋地点にもよるが、最近は3次元レーザースキャナを用いて測量をする事例も増えており<sup>12)</sup>、写真2.3.9と図2.3.7に事例を示す。詳細な部材寸法などは、足場をかけてから実測して確認する。こうして既設橋梁の幾何学的線形形状や部材寸法を確認することができる。

対象となる橋梁が合成桁の場合、RC床版更新においては、より綿密な計画と配慮が必要となる。よって、対象橋梁が合成桁かそうでないか調査することは重要である。鋼主桁断面の形状寸法から合成桁と非合成桁との区別はつくものの(2.4.1項)、合成桁のうち活荷重合成桁と死活荷重合成桁との区別は形状寸法からは推定できないので注意する必要がある。



写真 2.3.9 測量状況

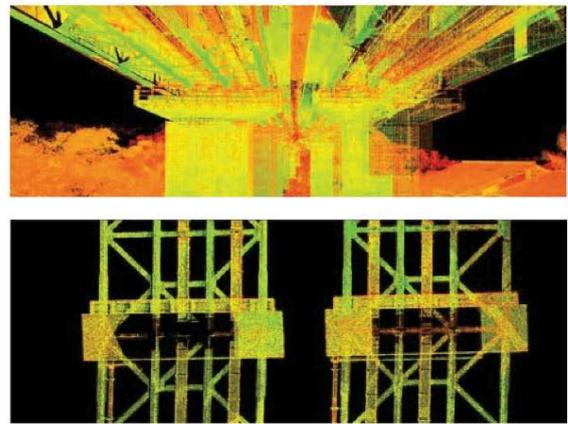


図 2.3.7 点群データ

### (2) 材料調査

#### 1) コンクリート部材

設計図書のない既設橋梁のRC床版の耐荷性能を推定するには、コンクリートの強度と鉄筋の径や配置を知る必要がある。コンクリート強度を推定するには、対象となる部材から採取したコンクリートコアの強度試験により求める方法、コンクリート表面の反発度から強度を推定する方法、超音波や衝撃弾性波法等の方法がある。また、比較的小さな試験体の抜き取りで可能な小径コアによる微破壊検査も行われており、これら強度試験については国土交通省から強度測定要領が出ている<sup>13)</sup>。鉄筋の径と配置は、電磁誘導法や電磁波レーダによる探査が一般的である。電磁誘導法では、鉄筋の位置、かぶり厚さ、鉄筋径の推定ができる。詳細には、コンクリート診断士のテキスト<sup>14)</sup>が参考となる。こうして部材寸法とコンクリート強度から推定される設計基準強度と配筋状態が分かれば、RC床版の復元設計が可能となる。

#### 2) 鋼部材

鋼部材で材質の分からない場合には、機械的性質と成分分析の調査を行う。機械的性質については、一般的に用いられる熱処理された炭素鋼である40キロや50キロ鋼程度の強度を有する構造用鋼材では、古くから硬さと強度が比例することが知られており、各種硬さ試験を行って強度を推定してきた。硬さと強度の換算には、米国の自動車技術者協会(SAE)の換算表<sup>15)</sup>に基づいて推定されることが多い。実際、硬さの計測には実構造物から小片を取り出す方法がとられる。これらの測定要領については、土木鋼構造診断士のテキスト<sup>16)</sup>を参考とするのが良い。最近では現場で硬度を測ることもできるポータブル硬度計も市販されており、この場合、

小片を採取することなく強度推定が行える。

溶接による補強を行う場合、既設鋼部材の溶接性、つまり鋼部材の成分についても確認する必要がある。一般に古い鋼材は、溶接に悪影響を及ぼす物質であるリンや硫黄が多く含まれていることもあり、溶接する際には、成分分析が必要となる。成分分析には、機器分析と化学分析に大別される。機器分析の資料は、30 mm四方程度の板状の試験片が必要となる。化学分析の試料は、ドリル削孔により採取されるチップが用いられる。量としては分析1成分当たり約1g、再試験に備えて3g程度が必要となる。具体的な機器分析や化学分析の手法についても土木鋼構造診断士のテキスト<sup>16)</sup>を参考とするのが良い。鋼材は、製造された年代により材料特性が大きく異なるため、鋼部材を維持管理していくには、その特徴を把握しておくことが重要である。例えば、古い鋼材は炭素当量が多く、溶接には不向きである。しかしながら、鋼材の溶接は補修を行う上で必要となる手法の一つであり、どの年代の鋼材が溶接可能であるのか<sup>17)</sup>知っておくことは重要である。一方、疲労による亀裂が生じた場合、その亀裂が起点となって脆性的に破壊することを避ける必要があり、年代ごとにその鋼材の有するじん性<sup>18)</sup>を調べる必要がある。なお、これに併せて、溶接時の施工品質の確保や構造影響への配慮が必要である。

さらに、対象部材には、腐食による材料欠損が生じていることがある。こうした場合の部材耐力の評価とその対処方法<sup>19)</sup>について留意する必要がある。

### (3) 復元設計

対象橋梁の線形条件やコンクリート部材と鋼部材の寸法、材質等が明らかになれば、詳細な設計計算を行える。また、建設年次や橋格、幅員構成、主桁高さ、主桁本数、支間長、合成か非合成かといった概略の条件により当時の基準や設計慣習に基づいた復元設計ができるシステムが開発されている<sup>20)</sup>。

### 2.3.7 各種交通規制への対応

道路の交通規制の計画に際しては、道路特性などの諸条件を整理したうえで、工事規制に伴う交通の安全性、工事中の安全性、渋滞等に伴う社会的影響等に配慮し計画することとなる。交通規制形態の検討フロー（参考）を図 2.3.8 に示す。

床版更新のための交通規制形態は、工事内容により作業に必要な重機や施工ヤードの広さが異なること、交通量は時間帯や季節により変動することから、現地条件等に応じて柔軟に計画するのが良い。

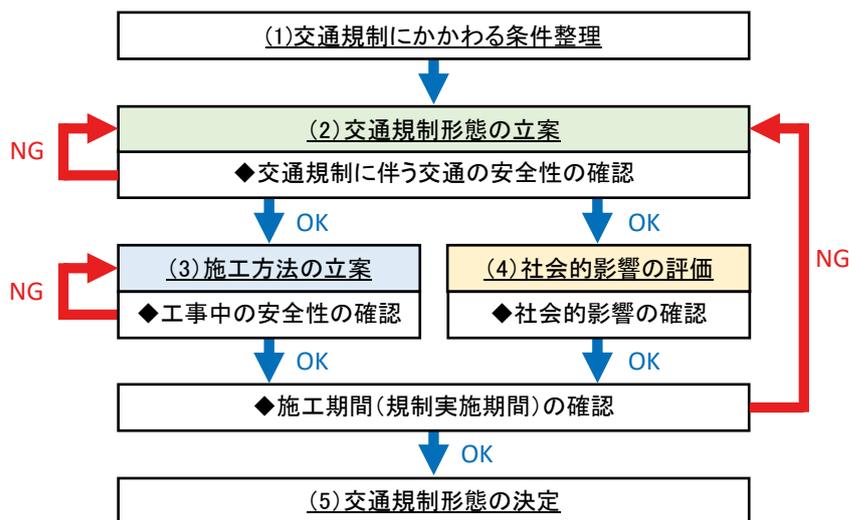


図 2.3.8 交通規制形態の検討フロー（参考）

#### (1) 交通規制にかかわる条件整理

工事に伴う交通規制計画の立案に際しては、道路特性や工事内容に応じた最適な交通規制形態を計画することが求められる。

交通規制を実施することで、交通渋滞や交通事故の発生などが懸念されることから、道路構造、交通実態、周辺道路の整備状況等についてあらかじめ整理したうえで交通規制形態を検討することとなる。交通規制にかかわる諸条件等について表 2.3.2 に示す。

表 2.3.2 交通規制にかかわる条件整理項目

道路構造等	車線数や道路幅員等の横断面構成、設計速度、規制速度、道路線形など
交通量等	通行台数、交通量の傾向（時間帯・曜日別・月別など）、通行車両の利用実態（生活道路、幹線道路、緊急輸送道路など）
周辺道路等	周辺道路網の整備状況、迂回路の有無

#### (2) 交通規制形態の立案

交通規制形態の立案は、交通規制の実績を参考に立案することが一般的ではあるが、交通規制の実績が不明瞭な場合や過去に実績のない規制形態を計画する場合には、道路構造や交通特性、工事实施方法などを勘案したうえで規制時間帯および規制範囲を定め、交通規制形態を選定するとよい。

交通規制形態は、道路線形や交通規制の開始位置、規制時の横断面構成、規制速度と設計速度、交通規制延長などより、交通規制に伴う交通事故が生じないように配慮する必要がある。また、工事用車両や資機材搬入車両の進入出口における安全性などについても十分検討する必要

があり、通行車両にとって危険となる交通規制となる場合には、交通規制形態の見直しを行う必要がある。

交通規制形態の種類は、規制実施時間帯、規制範囲等によって表 2.3.3 のように分類される。なお、昼間のみでの床版取替作業は一般的に行われない。

表 2.3.3 交通規制形態の種類

実施時間帯 規制範囲	昼間	夜間	昼夜連続（終日）
全車線を規制 （通行止め）	—	夜間通行止め規制 （日々解放）	終日通行止め規制
一部車線を規制 （車線毎）	—	夜間車線規制 （日々解放）	終日車線規制

交通規制形態の主な特徴について表 2.3.4 に示す。

表 2.3.4 交通規制形態の主な特徴<sup>9)</sup>

交通規制 形態	夜間車線規制	終日車線規制 （対面通行規制）	夜間通行止め規制	終日通行止め規制
規制 範囲	部分的な規制	部分的な規制	全幅員規制	全幅員規制
実施時間 帯	夜間のみ	昼夜連続	夜間のみ	昼夜連続
施工幅員	幅員分割施工	幅員分割施工 （全幅員施工）	全幅員施工	全幅員施工
安全対策 等	夜間走行となるため、 通行車両の走行安全性 は相対的に低い。	夜間走行となるため、 通行車両の走行安全性 は相対的に低い。	通行車両の安全性は高 い。	通行車両の安全性は高 い。
工期への 影響	車線毎の作業となるこ と、夜間作業となるこ と、開放作業が必要と なるため著しく施工能 力が低い	昼夜連続作業となるた め、 標準工期と比べ短期間 となる	全幅員作業となるが、 夜間作業となること、 開放作業が必要となる ため施工能力が低い	全幅員による 昼夜連続作業となるた め、 標準工期と比べ短期間 となる
周辺環境 への影響	夜間における工事中騒 音	夜間における工事中騒 音	夜間における工事中騒 音	夜間における工事中騒 音
迂回路へ の影響	工事規制に伴う渋滞が 発生する場合に迂回路 の混雑も危惧される	工事規制に伴う渋滞が 発生する場合に迂回路 の混雑も危惧される	迂回路の交通混雑	迂回路の交通混雑
その他	日々解放となり、緻密 な工程管理が必要。 解放時における路面擦 り付け作業等が必要。		日々解放となり、緻密 な工程管理が必要。 解放時における路面擦 り付け作業等が必要。	

### (3) 施工方法の立案

施工方法の立案では、交通規制形態に応じた施工方法を検討することとなる。

床版取替の現場では一般的には路面上にトラッククレーンを配置し1～2パーティで取り替え作業が行われている。路面上にトラッククレーンを配置すると日々解放規制での施工が不可能となることから、過去には門型クレーンを常設し取り替え作業を実施した事例や、路外に仮設ヤードを構築し、常設クレーンを設置し日々解放規制により作業した事例もある。このように、床版取替作業では交通規制形態に応じてクレーンの種類や配置計画を行うとよい。

また、交通規制内での施工は、作業範囲が非常に狭小となる場合や、走行車線と近接する場合などが想定されるとともに、夜間規制では日々解放のため作業時間が短く非常に厳しい工程管理（時間管理）を強いられる。このように、交通規制内での作業は様々な制約を受けることとなるため、施工機械や架設工法、人員配置や労務管理、工程管理など様々な視点において安全に作業ができることが重要となる。

このため、立案した交通規制形態において工事中の安全が確保されない可能性がある場合には、施工方法等の見直しを行う必要がある。なお、施工方法の見直しによって改善されない場合には交通規制形態の見直しを行うこととなる。

### (4) 社会的影響の評価

交通規制を実施することで、規制道路や迂回路となる関連道路において交通渋滞が発生する場合があります。交通渋滞の発生した場合には通過時間の増、走行経費の増、交通事故の発生などの社会的な損失が生じる。このため、大規模な渋滞が懸念される場合においては、規制道路における渋滞予測や迂回路となる関連道路における渋滞予測などを行うなど、社会的影響の程度を把握しておくことが重要となる。

また、交通規制による社会的影響の大きさは、「日々に生じる社会的影響」×「工事規制の実施期間」との関係にあることから、社会的影響を評価する際には規制実施期間についても適切に把握していく必要がある。なお、規制実施期間を踏まえ社会的影響が大きくなる場合には交通規制形態の見直しを行う必要がある。

なお、社会的影響の最小化については3.3.3(4)を参考にするとよい。

### (5) 交通規制形態の決定

社会的影響の評価方法は、単にピーク時の渋滞延長や超過交通量×規制期間などの幾つかの方法があるが、定まった評価の方法はなく、今後、施工事例が増え評価方法が整理されることに期待したい。また、交通規制形態については、通行止めと対面交通の組み合わせ等数多くあり、それぞれの施工条件に応じた最適な交通規制形態を立案することが重要となる。

なお、交通規制形態の決定に際しては、道路管理者、交通管理者等、関係機関と十分に調整を行う必要がある。

図 2.3.9 に RC 床版更新の交通規制の選定フローを示す。床版更新が完了するまでの全期間において全幅員を通行止めで行うケース（ハ）がこれまでの実績では多い。

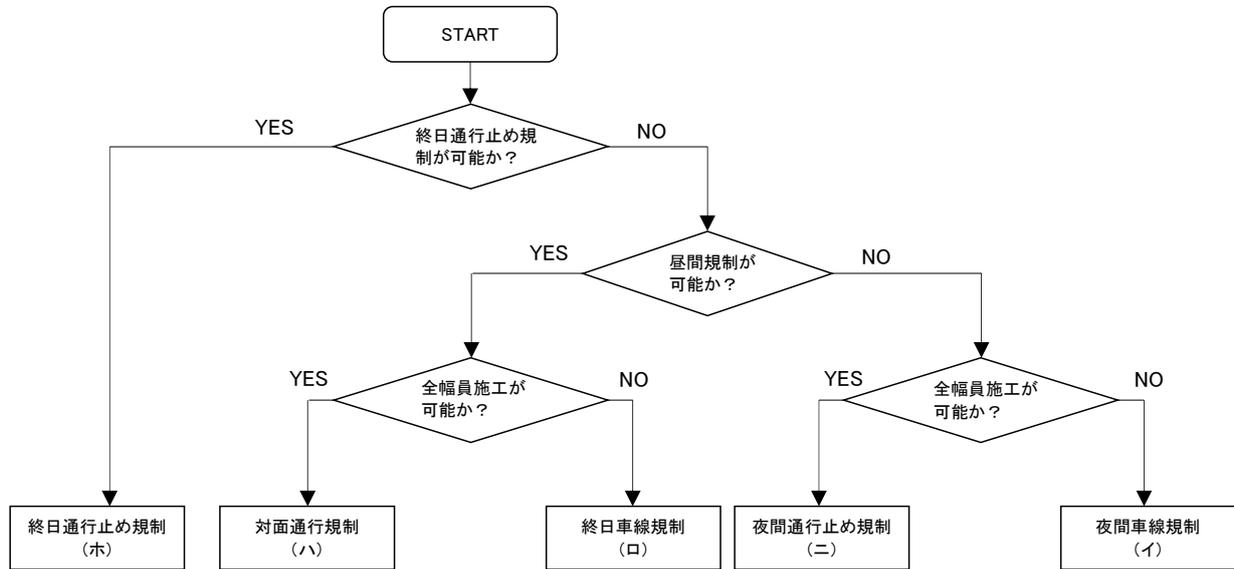


図 2.3.9 交通規制形態の選定フロー（参考）

### 2.3.8 上部構造の補強

照査の結果，既設の上部構造に対して性能が不足する場合は，その性能を補うために補強を行う必要がある。鋼橋は，現場で既設鋼構造物の補修・補強がコンクリート橋と比較して容易に行うことができることが特徴として挙げられる。床版更新における補強として当て板や補強部材を取り付ける対策がこれまでに実施されている。

補強部材を取り付けは，現場溶接は溶接姿勢に制限が設けられること，供用下では車両通行による振動を伴った施工になること，弱点（疲労）となる可能性があることから，一般的に高力ボルト継手が採用されることが多い。高力ボルト継手は，設計で想定したすべり係数が十分確保できるように既設構造物の接合面処理を行えば，接合面の処理設備も比較的簡易で，作業者の技量や姿勢に左右されることなく，継手部の品質を確保することができる（写真2.3.10）。



写真 2.3.10 高力ボルト摩擦接合継手を用いた当て板補強<sup>21)</sup>

また、外ケーブルを配置して応力低減を図る方法もある（写真2.3.11）。軸力が入ることによる鋼材の座屈に対しては、主桁ウェブの補強鋼板、下フランジ縦リブの増設などにより断面性能を向上するとともに局部座屈を防止する。鋼部材による補強以外の方法としては、4.6節に示すような炭素繊維シートなどによる補強方法がある。

補強を検討する場合は、維持管理性を考慮する必要がある。例えば、滞水しやすい場所、塗装ができない箇所、部材の剛性が急変する箇所が生じないように配慮するのが良い。

また、特殊な構造や新工法で補強する場合は、工事完了後にその補強効果の確認のために、応力や変位などを測定する必要があるため、施工前後の初期値を把握しておくが良い。

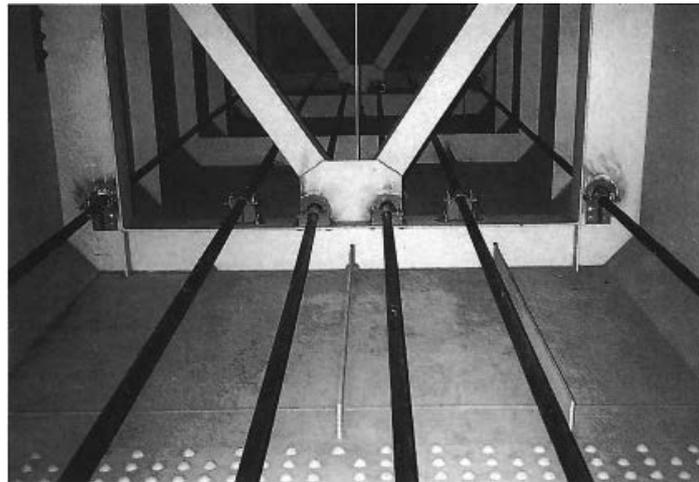


写真 2.3.11 外ケーブルを用いた補強<sup>22)</sup>

### 2.3.9 施工中の安全

既設床版の撤去、新設床版の施工において、安全に作業を行うことは、最も重要なことである。架設重機の選定、地耐力の確保、足場や型枠支保工などにおける安全上の見落としや検討不足は大事故を引き起こす可能性があるため、以下に示す事項をはじめ十分な調査と検討が安全確保のために求められる。

- ① 架設重機の作業ヤードの確保、地耐力
- ② 架設重機の旋回半径の確保
- ③ 床版撤去時の桁の強度（特に、合成桁の横倒れ座屈）
- ④ 床版切断時に主桁本体を傷付けないための対策
- ⑤ 高所作業での足場、手すりなどの落下防止対策
- ⑥ 既設床版撤去による開口部からの一般車両の転落防止対策

#### 参考文献（2.3 主桁の設計照査と施工方法）

- 1) 日本道路協会：鋼道路橋施工便覧 昭和 47 年，1972.
- 2) プレストレスト・コンクリート建設業協会：PC 床版設計・施工マニュアル(案)，p. 29，1999.
- 3) 日本橋梁建設協会：PC 床版設計の手引き，2012.
- 4) 中井博：プレキャスト床版合成桁橋の設計・施工 -床版の急速施工と耐久性向上のために-，森北出版，p. 42，1988.
- 5) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅱ 鋼橋・鋼部材編，2017.
- 6) 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.

- 7) 道路保全技術センター：既設橋梁の耐荷力照査実施要領（案），1996.
- 8) 奥井義昭：[特別寄稿]限界状態設計法と維持管理，片山技報，No. 33，pp. 2-7，2014.
- 9) 日本橋梁建設協会：床版取替え施工の手引き，2018.
- 10) 桐川潔，田中寛規，満田恭輝，大林敦裕，久行高弘，山下恭敬：道谷第二橋（上り線）の半断面施工による床版取替工事，建設図書，橋梁と基礎，2017.
- 11) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，I 共通編，2017.
- 12) 鷺崎壮平，宮本健次，後藤豊成：3次元レーザーキャニングシステムを用いた床版取替工事の施工報告，プレストレストコンクリート工学会，第23回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp. 371-374，2014.
- 13) 国土交通省大臣官房技術調査課：微破壊・非破壊によるコンクリート構造物の強度測定要領，2012.
- 14) 日本コンクリート工学会：コンクリート診断技術'18，2018.
- 15) JISハンドブック2012：硬さ換算表（SAE J417），鉄鋼I，参考11，2012.
- 16) 日本鋼構造協会：土木鋼構造物の点検・診断・対策技術-2018年度版-，2018.
- 17) 廣畑幹人：経年橋梁に使用された鋼材の材料特性および溶接性に関する基礎的検討，日本鋼構造協会，鉄と鋼，Vol. 103，No. 11，pp. 21-27，2017.
- 18) 北健志，池田学，木村元哉，中山太士：鋼橋に用いられた古い鋼材の材料特性に及ぼす予ひずみの影響，鉄道総研報告，RTRI Report，Vol. 22，No. 10，2008.
- 19) 土木学会：腐食した鋼構造物の耐久性照査マニュアル，鋼構造シリーズ18，2009.
- 20) 長崎富彦：既設橋梁の復元設計システム－写真と橋梁データから橋梁図面の復元，日本建設機械施工協会，建設機械施工，Vol. 67，No. 9，pp. 20-23，2015.
- 21) 柿沼努，池田大介，貞島健介，亀田隆志，杉澤康友，遊田勝：九年橋長寿命化対策工事の設計と施工，建設図書，橋梁と基礎，Vol. 49，No. 12，pp. 13-22，2015.
- 22) 金子鉄男，中原淳一郎：供用中ゲルバー桁の連続桁化工事－清見寺橋上部工補強工事報告－，横河ブリッジ技報，No. 26，pp. 179-191，1997.

## 2.4 既設鋼主桁と合成されたRC床版への対応

対象となる構造が床版と鋼主桁が合成されている合成桁の場合、設計や施工面での対応が非合成構造に比べ複雑となるため、2.1.4項に記したとおり、問題や技術的課題が多い。このように扱いの難しい合成桁である反面、例えば、非合成桁を合成桁に変更すれば鋼主桁の補強量を減らすことが可能であるなど、魅力的な一面を併せ持っている。設計・施工を進めるうえで有利に働くこのような合成桁の魅力を引き出すためには、合成桁の様々な合成方法を知ることが大切であり、合成桁の歴史について記した4.1節、架設方法により鋼主桁の応力分布が異なってくるについて解説した4.2節を参考にされたい。

2.4節は合成桁の見分け方の解説と合成桁の設計施工上の問題・技術的課題に対応した工事事例を示す。近年研究開発された新たな施工方法については、実績が少ない技術もあるが、4.7節を参照されたい。

### 2.4.1 合成桁の見分け方

合成桁は、供用後40年以上経過した橋梁が多く、設計図書が残されていないものも多い。そこで、設計図書が残されていない場合、床版更新を行おうとする当該の橋梁が合成桁かどうか調べる必要がある。合成桁の場合、図2.4.1に示すように正曲げ部ではRC床版と鋼桁が応力を分担し、負曲げ部の引張側では鋼桁と床版内の鉄筋が負担することになる。したがって、支間部で圧縮側となる上フランジはRC床版と共同で圧縮力を負担することから、引張側の下フランジに比べて断面積が小さくなる。非合成桁の場合、RC床版に圧縮力を負担させないので、支間部では上フランジも下フランジも同程度の断面積のものが使われる。よって、RC床版を有する鋼桁で、支間部の上フランジの断面が下フランジに比べて明らかに小さいのは、合成桁と判断してよい。ただし、活荷重合成桁と死荷重合成桁の分類は外観からでは困難である。

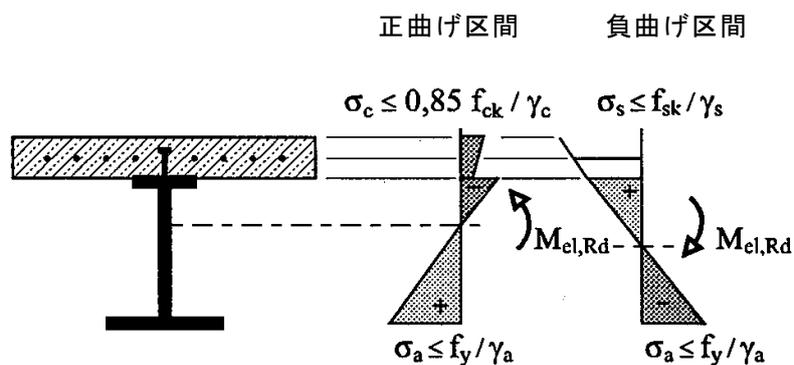


図 2.4.1 合成断面における荷重分布と上下のフランジの寸法イメージ<sup>1)</sup>

### 2.4.2 照査における留意点

合成桁のRC床版施工時は、例えば、鋼桁の横倒れ座屈防止のために、一時的に上横構を配置して架設時の鋼桁の安定性を確保するもの、連続桁の中間支点上の床版に作用する引張力に対し橋軸方向にプレストレスを導入するものがあり、建設の時に施工した状態を床版更新時や更新後に如何に再現するかが設計・施工をするうえで重要な検討項目となる。連続合成桁の考え方と施工方法について表2.4.1に、合成桁の調査方法を表2.4.2に示す<sup>2)</sup>。このように、既設合成桁の主桁設計・施工法を十分調査する必要がある。

表 2.4.1 連続合成桁の考え方と施工方法<sup>2)</sup>

分類		中間支点付近の考え方	施工方法
完全合成桁	プレストレスを与える連続合成桁	鋼桁と RC 床版が合成一体化して、中間支点部床版の作用力を減じ、プレストレスにより、ひび割れを許容しない。	(1)支間部に先行荷重を載せる工法 (2)ジャッキアップダウンによる工法 (3)PC 鋼線による部分的な縦締め工法
	プレストレスを与えない連続合成桁	負曲げ領域は鋼桁+鉄筋で抵抗し、鉄筋量でひび割れ幅を制御する設計法。	中間支点付近も RC 床版と鋼桁が十分合成する程度のずれ止めを配置
不完全合成桁	プレストレスしない連続合成桁	弾性合成桁	負曲げモーメント領域のみ不完全合成として設計する。
		断続合成桁	正曲げ領域を完全合成桁で、負曲げ領域の一部を非合成として設計する。
部分合成桁		死荷重の正曲げ領域を合成とし、負曲げ領域を非合成として設計する。	正曲げ領域を剛なずれ止め、負曲げ領域を柔なずれ止めと結合し、その境界で床版に目地を設ける。

表 2.4.2 既設合成桁の主桁設計・施工法の調査<sup>2)</sup>

項目	内容
建設時の設計方法	連続合成桁の主桁設計方法は、表 2.4.1 に示した種類があり、調査する必要がある。(具体的な設計法の概要は 4.2 節に切断合成桁を含む合成桁の架設方法による応力分布の違いを記載)
建設時の施工方法	表 2.4.1 に示した分類の連続合成桁の施工法を調査する。また、使用鋼材の材質を調査する。(具体的な施工法の概要は 4.2 節に切断合成桁を含む合成桁の架設方法による応力分布の違いを記載)
建設時の仮設材	床版施工時に用いていたベントや仮設の上横構などを調査する。
建設後の応力変化	RC 床版のクリープや乾燥収縮により、鋼桁に作用する応力の経時変化状況を調査する。
ずれ止め設計法	表 2.4.1 に示した連続合成桁の考え方に応じて、ずれ止め形状と配置が異なるので調査する。
鋼桁添接部の設計	鋼桁の添接計算はどのような応力状態を前提に設計されているか調査する。
縦桁増設補強方法	床版支間が大きいものも多く、縦桁を増設している場合が多いので、その内容を調査する。
鋼桁補強	荷重強度に B 活荷重が導入された時に、鋼桁を補強している場合があるので調査する。

連続合成桁における床版解体や床版新設においては、床版の分割位置と順序が重要となる。連続合成桁の場合は支間部から床版打設しているケースが多く、床版に作用している応力やプレストレスについて、既設橋の設計・施工の状況を調査したうえで完成後どのような状態にするのかの検討が必要となり、片側からの順次施工ができないなどの検討結果になる場合が多い。

既設合成桁の床版施工時に仮横構などを設置して、鋼桁の横倒れ座屈を防止していた橋梁も多く、同様に床版解体時にこのような仮設備が必要となる。床版の解体や新設床版の設置においては、鋼桁の上に床版更新用架設クレーンを設置する場合と、桁下のヤードにクレーンを設

置する場合、あるいは専用の解体、運搬、設置機材にて施工することも考えられる。この条件次第で鋼桁に与える影響が異なるので、それぞれの方法に応じた載荷状態で、鋼桁に与える影響を検討して、その安定性を照査する必要がある。床版架設に使用するトラッククレーンなどの荷重を、実際の作業状況を考慮して最も危険となる位置に載荷させて行うのが良い。その際、架設重機による荷重は、桁支間に応じた衝撃を含める必要がある。

床版更新後の主桁設計における留意点を表 2.4.3 に示す。合成桁の場合、上フランジ断面が小さく鋼桁の中立軸も下フランジ側にある場合が多い。RC 床版の更新工事の際に、鋼桁の上に重機を設置することや新設床版を設置することに対して、鋼桁の曲げ座屈と横倒れの連成座屈について照査が必要である。すなわち、鋼桁が曲げ座屈や横倒れ座屈を起こして不安定になる可能性があり、建設時に付けていた仮設横構を設置するなどの対策が必要となる。

表 2.4.3 床版更新時の主桁照査における留意点<sup>2)</sup>

項目	留意点
中間支点部の主桁の設計	中間支点部床版にプレストレスを導入するか、新設床版の形式を加味して、この部分の設計方法を検討する。
鋼桁の安定性確保	RC 床版解体や新設床版設置の際に、鋼桁の曲げ座屈と横倒れの連成座屈についての照査し、必要な鋼桁補強を行う。
床版取替時の仮設機材検討	床版更新時に場合によってはベントや仮設の上横構などを設置する必要あり、これが補強後の主桁の設計条件となる。
既設橋の補強状況に応じた主桁設計	既設橋の縦桁増設、上面増厚、外ケーブル補強、桁連結などの補強対策を調査し、床版取り替え後の主桁設計条件を検討する。
鋼桁点検と疲労設計の実施	疲労き裂がないか十分な点検を行い、鋼材の溶接性能確認や補強後の鋼桁疲労設計を実施する。
添接部の照査と補強設計	鋼桁の添接部の強度が不足している場合があり、これらの補強設計を行う。

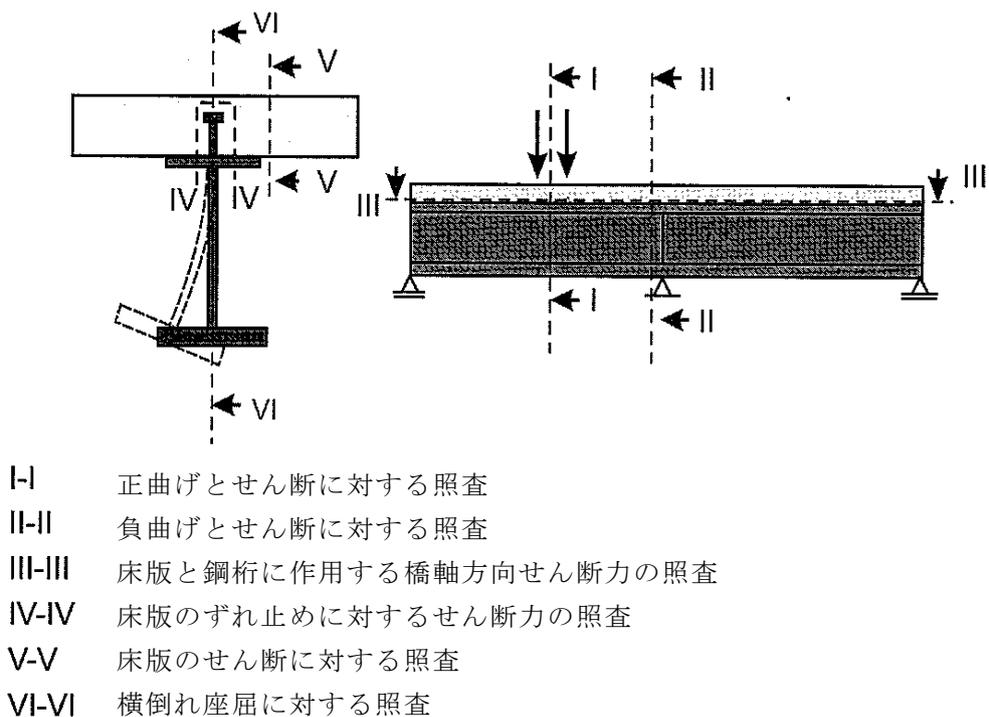


図 2.4.2 合成断面への作用力に対する照査断面<sup>3)</sup>

次に合成桁の設計において作用力に対する照査断面を図 2.4.2 に示す<sup>3)</sup>。合成桁の場合、非合成桁と異なり、ずれ止め周りのせん断力に対する照査などが必要となる。また、横倒れ座屈については、上フランジが床版と合成されているので図に示すよう上フランジが床版に固定される結果となり、回転変形が抑えられることで有利となる。

床版更新工事中に取り替えていない車線を供用させる場合は、その橋の建設当初の荷重を用いてもよいとした考えもある<sup>4)</sup>。これは、工事中においては対象とする橋がもともと有している活荷重に対する安全性が確保できればよいといった考えからである。また、防護柵によって車両の走行位置が制限できる場合には、実際の走行位置に 2.75m 幅のレーン載荷を採用してもよいとした考えもある<sup>4)</sup>。

### 2.4.3 鋼桁の応力超過や座屈に対する対策<sup>4)</sup>

合成桁の RC 床版更新にあたり、通行止めを行わずに一部供用しながら床版を順次打ち換える場合には、打ち換え境界付近の桁は、合成されるべき床版がない状態で活荷重が載荷されることになり、図 2.1.2 に示したように、応力超過が生じる可能性がある。また、床版撤去後の状態で上フランジの横倒れ座屈に対する固定間距離を十分にとることができず、局所的に大きな作業時荷重を受けると上フランジの応力超過や横倒れ座屈が生じる可能性がある。これらについて、安全に施工を行うには、支保工や補強材を設ける対策や主桁に軸力を導入する対策があり、以下にそれらを解説する。なお、これらの対策は、単独ではなく組み合わせて対応することができる。

#### (1) 支保工や補強材による対策

##### 1) 支保工

支保工による対策は、写真 2.4.1 に示すように桁下から支保工で支える、あるいは支保工で支持した架設桁により主桁を支える方法が一般的である。



写真 2.4.1 合成桁の床版更新で支保工を用いて主桁を支持する様子

支保工を中間支点とすることで、支間長が短くなり主桁に発生する応力が減少し、横倒れ座屈や応力超過を防ぐことができる。更新用床版の合成前に主桁を支保工上でジャッキアップし主桁に負曲げを導入し、この状態で主桁と床版を合成し、その後、ジャッキダウンすれば、主桁の応力を改善することができる。また、支保工位置で鋼桁の高さ管理が容易にできるため、キャンバーの調整も行いやすい。合成桁の床版更新時にベントを使用した事例は過去に複数の報告<sup>5), 6), 7)</sup>がある。

### 2) 主桁上フランジの横倒れ座屈に対する固定間距離の短縮

橋の断面形の保持のために、主桁の上フランジを水平方向に支持している対傾構や横桁間に、横支材などの部材を設け、床版がなくても上フランジが水平方向に変形しないように保持する方法が一般的に採られる。平面骨組みを上方から見た模式図を図 2.4.3 に示す。上図に比べ下図では横桁が増えて横倒れ座屈を防ぐための固定間距離が短縮している状態がわかる。

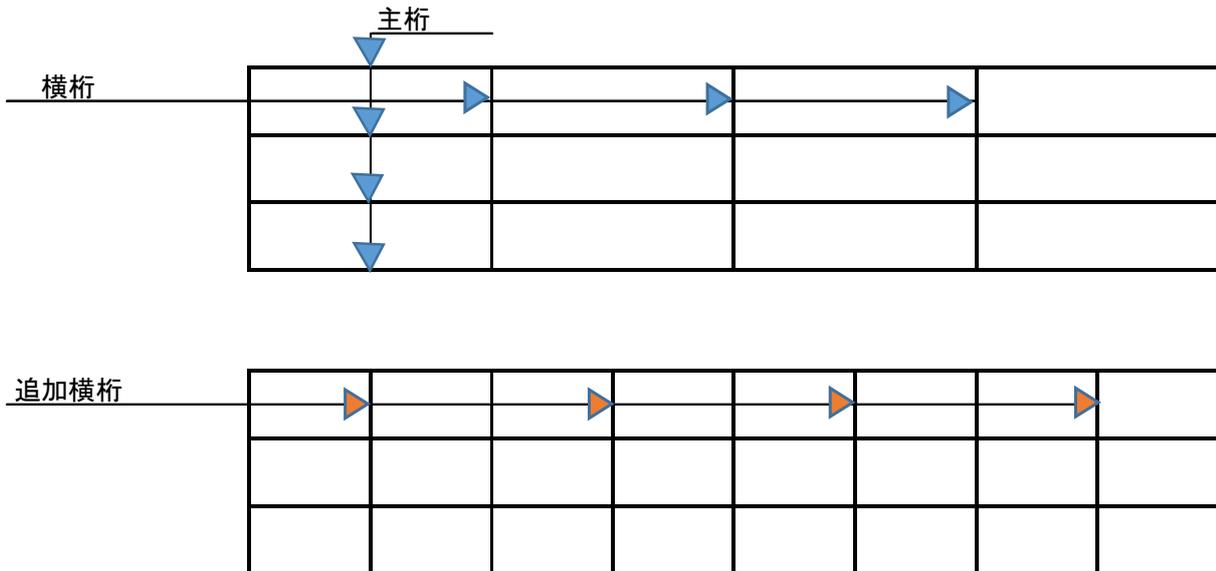


図 2.4.3 主桁の固定間距離を短縮する方法

### 3) 主桁断面の補強

主桁の応力を改善するためには、主桁のフランジやフランジ近くの腹板に補強部材を取り付ける方法がある。この方法は、部材の取り付けに時間や労力を要すること、主桁重量が増加することがデメリットとなる。一方、メリットとしては、支保工を設けることなく床版更新工事ができる。次に、断面補強の概念図を図 2.4.4 に示す<sup>8)</sup>。このとき注意すべきは、断面補強後

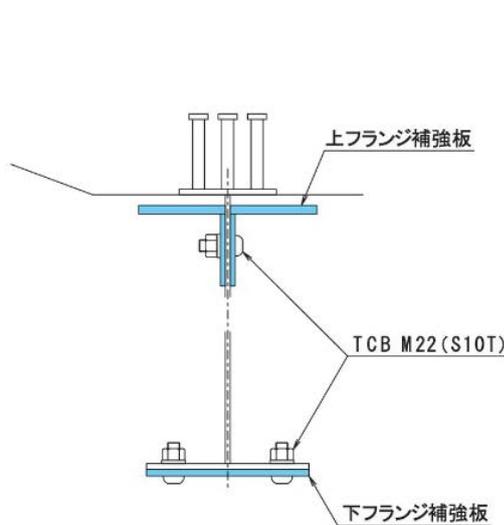


図 2.4.4 合成桁の断面補強概念図<sup>8)</sup>

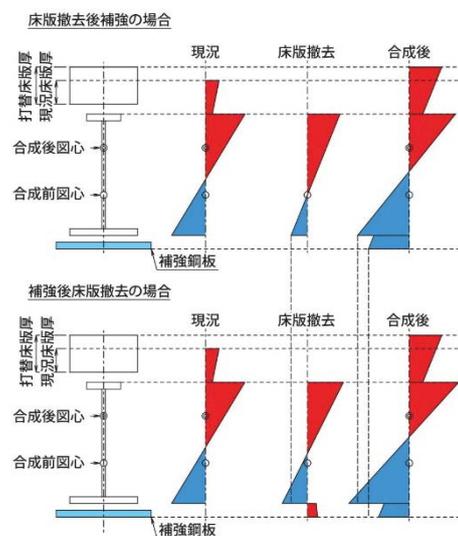


図 2.4.5 断面補強のタイミングの違いによる応力性状<sup>8)</sup>

に床版を撤去し、新たな床版を更新する場合と、床版を撤去したのち、桁断面の補強を行い、その後新たな床版を設けるのとでは、応力状態が異なることである。この概念を図 2.4.5 に示す。

## (2) 軸力導入による対策

### 1) 外ケーブル工法<sup>4)</sup>

本工法は、土木研究所でマニュアル化された工法で、合成桁の床版更新時に、主桁の下側に外ケーブルを設置し、これに緊張力を導入し、主桁に偏心軸力を与え、つまり支間部に負曲げを与えることで、主桁の応力を緩和しつつ床版更新を行うものである。この施工概念を図 2.4.6 に示す。これより、支保工を用いずに施工ができることがわかる。なお、この施工事例は 3.2.2 項に記している。また、他にも文献<sup>9)</sup>で施工事例が報告されている。

本工法の特徴として、床版更新後に、外ケーブルの緊張力を解放することで、死荷重による正曲げで床版に橋軸方向の圧縮力が導入されるため、床版のひび割れ抑制に効果がある。この概念を図 2.4.7 に示す。

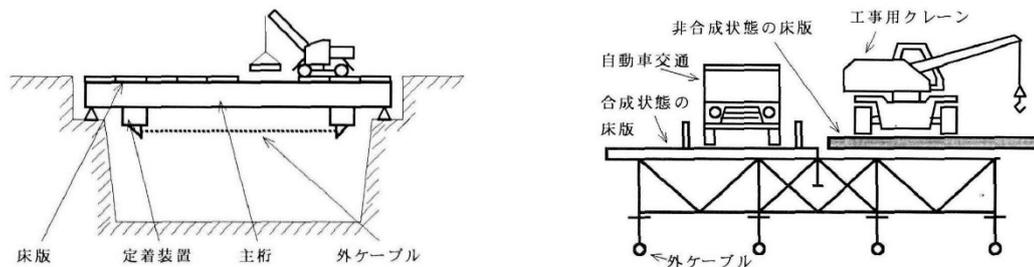


図 2.4.6 外ケーブルを用いた合成桁の床版更新施工<sup>4)</sup>を参考に作成

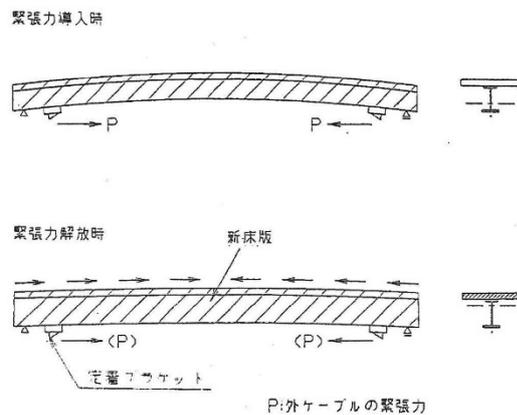


図 2.4.7 外ケーブル工法による軸力導入と解放<sup>4)</sup>

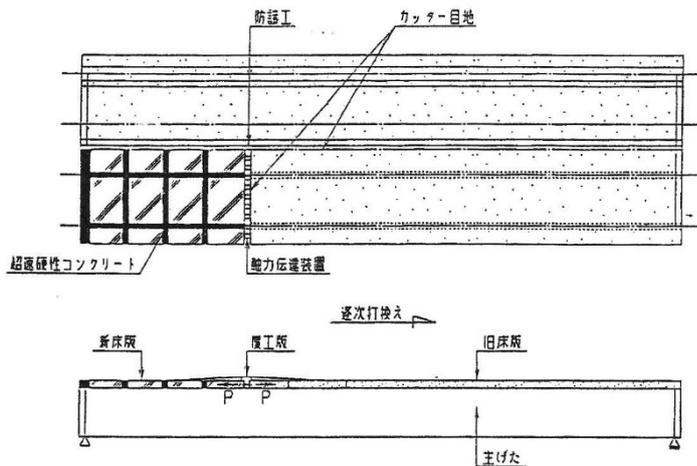
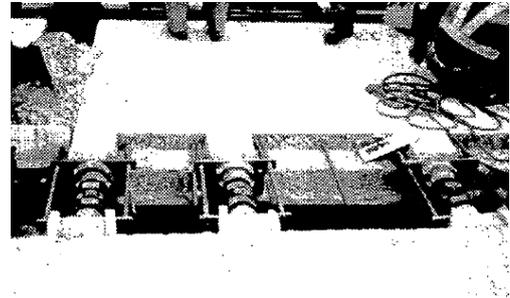
出典：土木研究所資料第 3582 号 平成 10 年 6 月（建設省土木研究所）

合成げたの床版打換え工法に関する調査

－「外ケーブル工法および軸力導入工法を用いた合成げた床版の打換え設計・施工マニュアル（案）」－

### 2) 軸力導入工法<sup>4)</sup>

本工法も、土木研究所でマニュアル化された工法で、合成桁の床版更新時に、既設床版と新設床版の目地部に、複数の床版軸力を伝達させる部材を配置し、主桁と床版の合成効果を確保しながら合成桁の床版更新を行う工法である。この床版への軸力導入の概念と施工時の様子を図 2.4.8、写真 2.4.2 に示す。この方法は、更新用床版の施工時に既設 RC 床版と軸力伝達装置

図 2.4.8 軸力導入工法<sup>4)</sup>写真 2.4.2 軸力伝達装置<sup>4)</sup>

出典：土木研究所資料第 3582 号 平成 10 年 6 月（建設省土木研究所）

合成げたの床版打換え工法に関する調査

－「外ケーブル工法および軸力導入工法を用いた合成げた床版の打換え設計・施工マニュアル（案）」－

を撤去するので、合成桁の一部に一時的に鋼桁のみの区間が生じる。したがって、この状態での照査が不可欠となる。

本工法の特徴として、施工途中に目地部を覆う覆工板を設けることで交通開放が可能となることである。交通開放時には、軸力伝達装置のゆるみ止めと主桁の応力低減を目的として、圧縮力を導入しておくことが好ましい。

本工法も実際の合成桁橋での施工実績がある<sup>10)</sup>。

#### 2.4.4 ずれ止め周りのコンクリートの撤去

一般的な工法は、図 2.1.3 に示すように上フランジ上のコンクリートをブレーカーで取り去る方法であり、効率的な作業、騒音と粉塵の抑制が課題であった。ここでは、ブレーカーによる工法以外でこれらの課題を少しでも改善する実績のある工法を解説する。

##### (1) 上フランジと一体的に RC 床版を撤去する方法

主桁とコンクリートの分離作業を別のところで行えば現場での騒音と粉塵は生じない。上フランジと一体的に RC 床版を撤去した施工事例は 3.1.6 項に記している。事前に腹板を切断し、添接板で仮添接しておき、床版更新時に仮添接板を外し、腹板の一部と上フランジを既設 RC 床版とともに撤去する方法である。新たに床版を設ける前に上フランジを設置しなくてはならないこと、上フランジが一時的に無くなることによる主桁の安全性を確保することが設計上の新たな課題となる。本工法は、急速施工が期待できる。

##### (2) 静的破砕剤による工法

本工法は、セメント系の膨張剤を適用して合成桁のずれ止め周りのコンクリートを破砕<sup>11)</sup>する方法である。静的破砕剤は、巨大な岩石を破砕するために使用されるものである。施工状況を施工順に並べ写真 2.4.3 に示す<sup>12)</sup>。

本工法のメリットは、静音性にある。しかし、デメリットとして化学反応を利用するため、現在の技術では、量的かつ時間的なコントロールが難しい。今後、専門業者（静的破砕剤製造



写真 2.4.3 静的破砕剤を用いた合成桁のずれ止め周りのコンクリート撤去<sup>12)</sup>

者)による, より使いやすい技術の開発を期待したい。

#### 2.4.5 主桁とプレキャスト PC 床版の接合

##### (1) プレキャスト PC 床版を適用する場合のずれ止め配置上の課題

プレキャスト PC 床版を合成桁に用いる場合, そのスタッド配置が課題となることが多い。プレキャスト PC 床版は, 一般的に図 2.4.9 に示すように配置される<sup>13)</sup>。このとき, 橋軸直角方向には, 工場で PC 鋼材によりプレストレスが導入される。そのため, ずれ止めに用いるスタッド用の開口部 (図 2.4.9 に示すずれ止め用孔) がある位置には PC 鋼材が配置できない。一方, 主桁と床版に作用するせん断力は, 桁端部や中間支点部で大きくなるため, この部位には多くのずれ止めを配置する必要がある。しかしながら, プレキャスト PC 床版に必要なプレストレス量を一様に導入するためには, PC 鋼材の配置を考慮した断面の確保が必要であり, 多くのずれ止めを配置するために開口部を大きくすることが困難となる。合成桁としてプレキャスト PC 床版を採用する場合, このようにスタッドなどによる合成のためのずれ止め配置が課題となる。

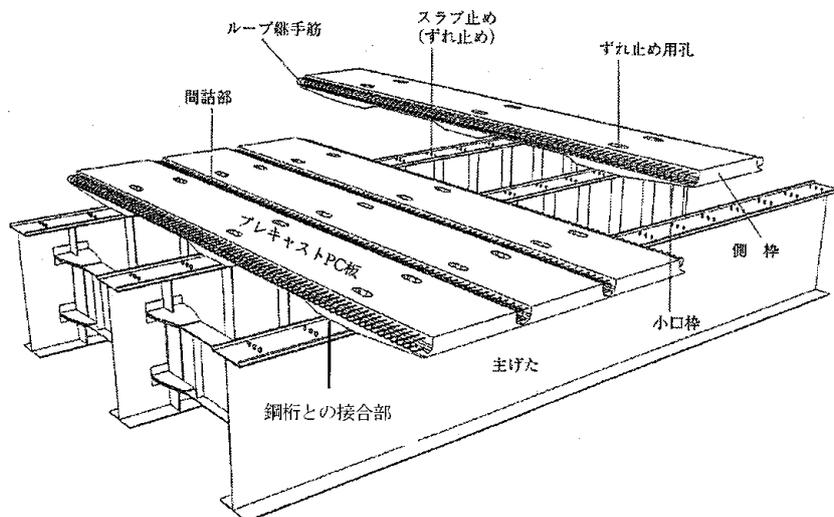


図 2.4.9 プレキャスト PC 床版の配置イメージ図<sup>13), 14)</sup>

(2) 各種コンクリート床版に適用するずれ止めの耐荷性能に関する比較

更新する床版にプレキャスト PC 床版を使用する場合は鋼桁と接合のためのずれ止めが必要となる。プレキャスト PC 床版に箱抜きを設けたうえで場所打ちコンクリートやモルタルで対処することとなるが、せん断力の大きな箇所のずれ止めは、ずれ止めとなるスタッド間隔を道路橋示方書の規定よりも密に設けることのできる群スタッドによる対処方法<sup>15)</sup>が参考になる。

Hanswille ら<sup>3)</sup>は図 2.4.10 に示すように、A) 場所打ち床版で普通にスタッド配置、B) ハーフプレキャスト床版でのスタッド配置、C) プレキャスト床版で群スタッド配置の 3 通りで  $\phi 25$  mm の頭付きスタッドを同本数で配置してプッシュアウト試験を行った。その結果、プレキャスト床版で群スタッドを用いると、一般的な場所打ち床版でのスタッド配置やハーフプレキャストの床版でのスタッド配置に比べて、耐荷力やダクティリティの点で小さくなるのがわかる。

また、前述の通りプレキャスト床版で合成桁の設計を行う場合、ずれ止めの配置が限られるため、ずれ止め 1 本あたりのせん断力を増やして対応することが考えられる。日本の規準では、ずれ止めに用いるスタッドの軸径は  $\phi 19$  あるいは  $\phi 22$  に限られているが、この研究からわかるように欧州では  $\phi 25$  のスタッドが適用されており、ずれ止め 1 本あたりの設計せん断力の増加を求めるのであれば、 $\phi 25$  の軸径のスタッドを用いる方法も考えられる。

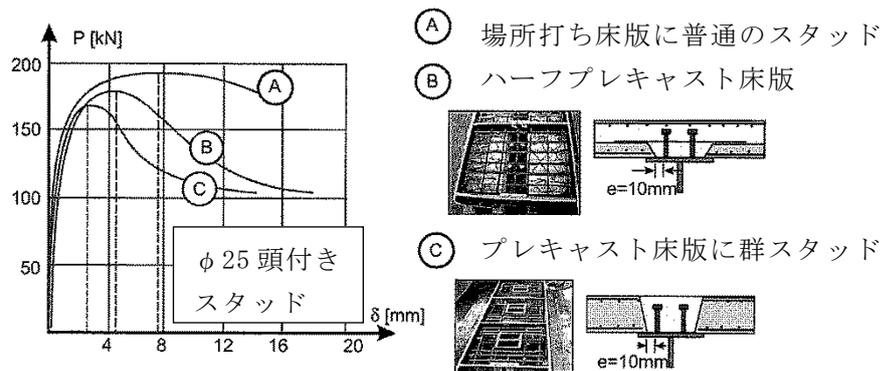


図 2.4.10 プッシュアウト試験でのずれ止め配置の比較<sup>3)</sup>

(3) コンクリート床版と鋼げたとの接合で不完全合成として用いる事例

ずれ止めの考え方として、4.1 節に示すように主桁と床版間のずれを認めない完全合成であればせん断力はかなり大きくなるが、ずれを多少認める不完全合成桁はせん断力もそれほど大きくなり、ずれ止めを配置することが可能となる。こうした不完全合成の考え方は、日本で

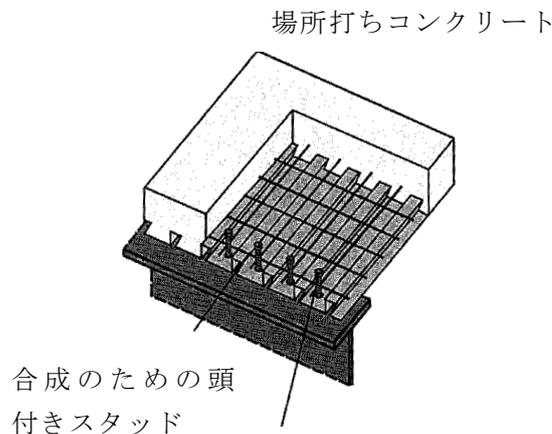


図 2.4.11 建築の合成床版と鋼桁との不完全合成構造の適用事例<sup>3)</sup>

はあまり見られないが、欧州の建築構造においては図 2.4.11 に示すように鋼製の型枠兼用のデッキシートにコンクリート床版を打ち込む合成床版と鋼桁との合成構造に適用されている<sup>3)</sup>。

#### 2.4.6 キャンバーと残留応力

合成桁は架設方法によって主桁の応力が異なる(4.2.1項)。そのため架設方法は、直接主桁の変形として死荷重たわみであるキャンバー値に密接に関わる。したがって、RC床版更新時に非合成桁を活荷重合成桁に、あるいは活荷重合成桁を死活荷重合成桁に変更すれば、それぞれキャンバー値や発生する応力が変わり、必要な補強量も変わる(4.2.2項)。死活荷重合成桁として更新する場合には、床版の荷重を主桁が負担することから、一般には床版と主桁の合成前に主桁を無応力状態として支持することとなるが、このとき主桁に応力が残れば応力超過となる可能性が生じる。主桁にたわみを生じさせる最も影響の大きな床版の荷重を鋼桁の抵抗断面のみで受け持つ活荷重合成桁は、死活荷重合成桁に比べてキャンバーは大きくなる。支間長 33m の単純活荷重合成桁の場合、死荷重たわみであるキャンバー値は約 100 mm で、そのうち RC 床版や型枠による死荷重たわみがほぼ 4 分の 3 を占める<sup>16)</sup>。RC 床版更新時に合成構造を変更する場合は、このような点に注意して、適用する合成構造に応じた適切な設計を行う必要がある。

新設床版に鋼床版を適用する場合、鋼床版は主桁と高力ボルトなどで完全に接合されることから合成桁となる。現場で既設主桁を無応力状態で鋼床版と接合することができれば、死活荷重合成構造となるが、主桁を橋脚支点間で支持した状態で接合すると活荷重合成構造となる。既設床版が RC 床版であれば更新後の床版は軽くなるため、床版更新後に既設桁が上昇することに配慮してキャンバーを設ける必要がある。

また、主桁に生じる残留応力をコントロールしつつ施工するには、主桁にひずみゲージを取り付けて施工中の主桁の応力変化を確認する必要がある。施工事例<sup>8)</sup>にあるように主桁のひずみを監視することで設計思想通りに施工ができたかを検証することができる。

#### 参考文献 (2.4 既設鋼主桁と合成された RC 床版への対応)

- 1) Helmut Bode: Euro-Verbundbau, 2., völling neu bearbeitete Auflage, Werner Verlag, p.5, 1998.
- 2) 大垣賀津雄: 既設合成桁の床版取替えにおける設計・施工上の課題について, 第 10 回道路橋床版シンポジウム論文報告集, 土木学会, 2018.
- 3) G. Hanswille, M. Schäfer, M. Bergmann: Verbundtragwerke aus Stahl und Beton, Bemessung und Konstruktion, Kommentar zu DIN EN 1994-1-1, Ausgabe Dezember 2010, Stahlbau Kalender 2018, Ernst&Sohn, 2018.
- 4) 建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室: 合成げたの床版打換え工法に関する調査ー「外ケーブル工法および軸力導入工法を用いた合成げた床版の打換え設計・施工マニュアル(案)」ー, 土木研究所資料第 3582 号, 1998.
- 5) 土木学会鋼構造委員会: 鋼橋の大規模修繕・大規模更新 - 解説と事例 -, 鋼構造シリーズ 26, pp.54-59, pp.217-222, 2016.
- 6) 光田剛史, 木原通太郎, 山田秀美, 龍頭実, 水野浩, 原考志: 西名阪自動車道 御幸大橋(下り線)床版取替えⅡ期工事, 建設図書, 橋梁と基礎, pp.15-21, 2011.
- 7) 光田剛史, 木原通太郎, 久米将紀, 向台茂, 山浦明洋, 白水晃生: 西名阪自動車道 御幸大橋(上り線)床版取替えⅢ期工事, 建設図書, 橋梁と基礎, pp.53-64, 2012.
- 8) 川合徳雄, 前島真二: 鋼合成桁橋梁の床版取替えと主桁補強ー乙津橋補強工事 -, 土木学会, 第五回道路橋床版シンポジウム講演論文集, pp.189-194, 2006.

- 9) 伊藤洋, 高田道也, 神田昌幸, 西川和廣, 藤原稔: 外ケーブルを用いた合成桁橋の床版打ち換えにおける構造検討, 土木学会, 構造工学論文集, Vol. 43A, 1997.
- 10) 石田秀成, 山本博文, 斉木聖二, 新田芳孝, 細谷 均: 交通開放下での合成桁橋の床版打ち換え, 橋梁と基礎, 1994.
- 11) 小田裕英: 静的破砕剤を用いた床版撤去工, 理工図書, 土木技術, pp. 59-63, 2003.
- 12) 横河ブリッジ: 横河の橋梁技術 コンクリート床版取替え施工, 2005.
- 13) 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, p. 175, 2016.
- 14) プレストレスト・コンクリート建設業協会: PC 床版設計・施工マニュアル(案), p. 2, 1999.
- 15) 岡田淳, 依田照彦, J. P. Lebet: グループ配列したスタッドのせん断耐荷性能に関する検討, 土木学会論文集, 巻 766 号, 2004.
- 16) 日本橋梁建設協会: 合成桁の設計例と解説一道示 平成 29 年 11 月版対応 -, pp. 104-105, 2018.

## 2.5 道路付属物の高速施工と耐久性向上

施工長 200m の RC 床版更新における各工種の平均的な工程は、3.3 節の検討結果（表 3.3.12）から表 2.5.1 のようになる。本体工事後に、伸縮装置、壁高欄、床版防水および舗装などの道路付属物を施工した後に規制が解除されるので、規制期間の短縮を実現するためには既設床版の撤去や更新用床版の架設だけでなく、道路付属物の高速施工も重要であることがわかる。また、道路付属物は、路面凍結防止剤の散布による厳しい環境下に置かれる可能性が高いことから、耐久性の向上も求められる。

2.5 節は、道路付属物の高速施工化と耐久性向上に関する壁高欄、伸縮装置、防水・舗装の関連技術を解説する。

		平均日数	10日	20日	30日	40日	50日	60日	70日
本体	既設床版撤去	25	■						
	プレキャストPC床版架設	15		■					
	間詰め部施工	13			■				
	場所打ち床版施工	16			■				
付属物	壁高欄施工	26				■			
	伸縮装置更新	14				■			
	防水・舗装工	11					■		
規制期間			← 約63日間 →						

表 2.5.1 施工長 200m の一般的な施工日数

### 2.5.1 壁高欄

#### (1) プレキャスト壁高欄

コンクリート製の壁高欄の施工は、場所打ちコンクリートで構築するのが一般的であるが、高速施工が求められる床版更新においては、現場での配筋作業や型枠設置作業、コンクリート打設を省力化できるプレキャスト壁高欄の採用が増えている。プレキャスト壁高欄は、床版との接合構造の合理化等による現場作業のさらなる省力化に向けて技術開発が進められており、様々なタイプの構造が提案・実用化されている。

#### 1) プレキャスト壁高欄の構造例<sup>1)</sup>

プレキャスト壁高欄で使用実績の多い事例を図 2.5.1 に示す。床版との接合はループ状の鉄筋、プレキャスト壁高欄同士の接合には孔明き鋼板ジベルを採用し、施工時に設置高さや橋軸方向の位置調整が可能な構造となっている。接合部の間詰め部にはモルタルを充填し一体化する。壁高欄の型枠や支保工を簡素化（写真 2.5.1）でき、現場でのコンクリート打設量を大幅に削減できるため、現場作業の省力化と高速施工に貢献している。

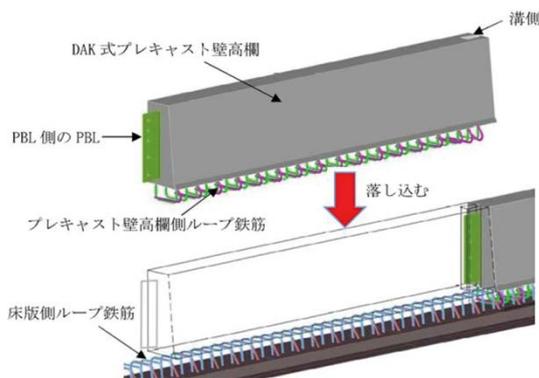


図 2.5.1 プレキャスト壁高欄の構造概要



写真 2.5.1 型枠設置状況

## 2) 維持管理性を高めたプレキャスト壁高欄の構造例<sup>2)</sup>

損傷時の更新に配慮したプレキャスト壁高欄の事例を図 2.5.2 に示す。床版に予め埋め込まれたアンカーボルトによって床版とプレキャスト壁高欄を結合し、壁高欄同士は天端付近に配置した連結用ボルトにより連結する構造となっている。写真 2.5.2 に壁高欄の設置状況を示す。間詰め部の無収縮モルタルは壁高欄前面側のみとなっており、壁高欄背面側には型枠が不要なため、現場施工の省力化が図られている。また、ボルトで連結した構造であるため、事故等により損傷した場合の交換作業が容易であり、維持管理性に優れている。

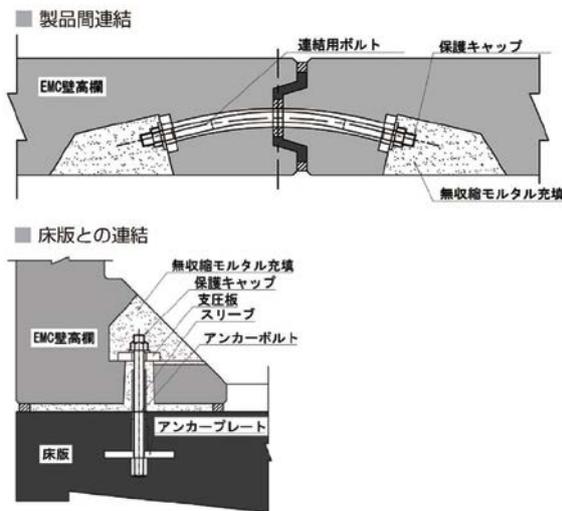


図 2.5.2 更新に配慮した壁高欄の構造例



写真 2.5.2 壁高欄の設置状況

## 3) 接合構造を合理化した壁高欄

プレキャスト壁高欄の高速施工化技術として、接合部の構造を合理化し間詰め部の施工を省力化する技術の開発が進められている。

鉄筋端部を鍛造により円錐台形状に加工した継手構造を採用し、床版と壁高欄および壁高欄同士の接合部を合理化したプレキャスト壁高欄<sup>3)</sup> (図 2.5.3, 写真 2.5.3) や、炭素繊維ケーブルを適用したプレキャスト壁高欄<sup>4)</sup> (図 2.5.4) 等が開発されており、現場施工となる間詰め部の配筋、型枠や無収縮モルタル量を大幅に省力化し、さらなる高速施工化が図られている。

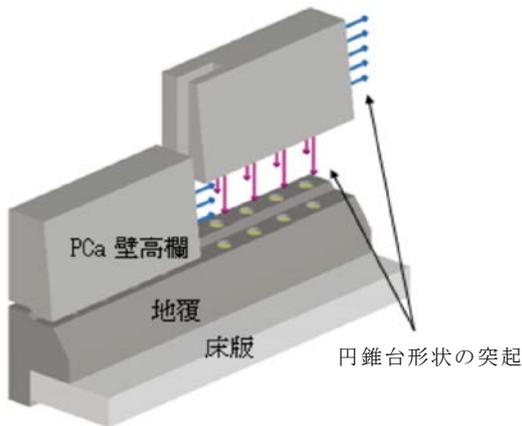


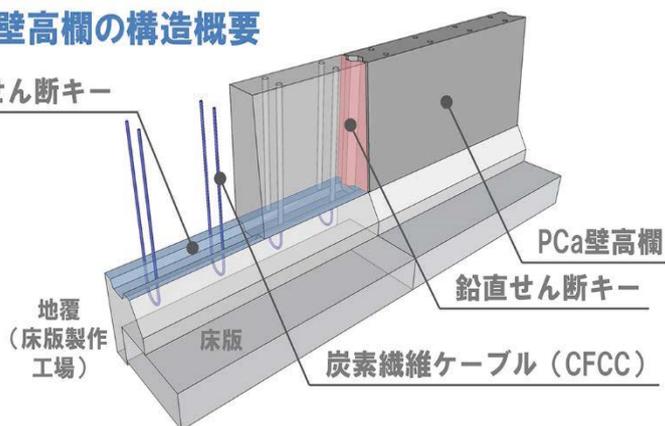
図 2.5.3 接合部を合理化した壁高欄の構造概要



写真 2.5.3 施工の状況

### PCa壁高欄の構造概要

水平せん断キー



載荷試験の状況

図 2.5.4 炭素繊維ケーブルにより接合したプレキャスト壁高欄の構造概要

## (2) 鋼製壁高欄

鋼製壁高欄は、上部工の重量軽減や施工期間の制約がある道路幅員拡幅工事などに採用されており、床版更新にも有効に活用できる可能性がある。鋼製壁高欄の構造概要と事例をそれぞれ図 2.5.5、写真 2.5.4 に示す。鋼板により構成され、内部が中空構造となっているため、コンクリート製の壁高欄より軽量の構造となっている。また、壁高欄本体は工場で製作し、現場での組立てはボルト接合のため、型枠の設置や養生期間が不要であり、高速施工の観点から有利といえる。

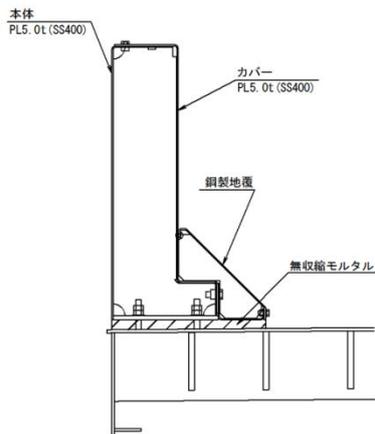


図 2.5.5 鋼製壁高欄の構造概要



写真 2.5.4 鋼製壁高欄の設置状況

### (3) 壁高欄の施工上の留意点

プレキャスト壁高欄や鋼製壁高欄は、部材を工場で作製した後に現場に搬入することから、設計や工場での製作期間を考慮して壁高欄本体と壁高欄と取り合う付属物の計画や設計を同時に進めることが重要となる。特に遮音壁や落下物防止柵のように壁高欄にアンカーボルト等を設置する付属物については、壁高欄の設計に影響が生じるため、事前に計画や設計を完了しておく必要がある。また、通信管路等の管路工についても壁高欄内部に敷設する場合があるので事前に確認しておくが良い。

## 2.5.2 その他の付属物

### (1) 伸縮装置

伸縮装置から漏水が生じ、その結果、主桁端部や支承等に重篤な劣化が生じている事例が多く確認されている。床版更新においては、十分な漏水対策を講じた伸縮装置を選定することが重要である。近年、土工部との境界になる橋台部では、主桁端部と伸縮装置の位置をずらし、万一、漏水が発生しても、橋体への影響を最小限に抑制する構造が採用されている。

#### 1) 延長床版<sup>5)</sup>

延長床版は、車輛走行による騒音・振動の低減や遊間からの漏水を防止する目的で採用されている。一般的な構造の概要を図 2.5.6 に、施工状況を写真 2.5.5 に示す。伸縮装置を遊間部から土工部に移設させることで、上部構造の床版を橋台背面の土工部まで延長し、底版部および延長床版部にプレキャスト版を採用することで、工期短縮、作業の簡略化が可能である。

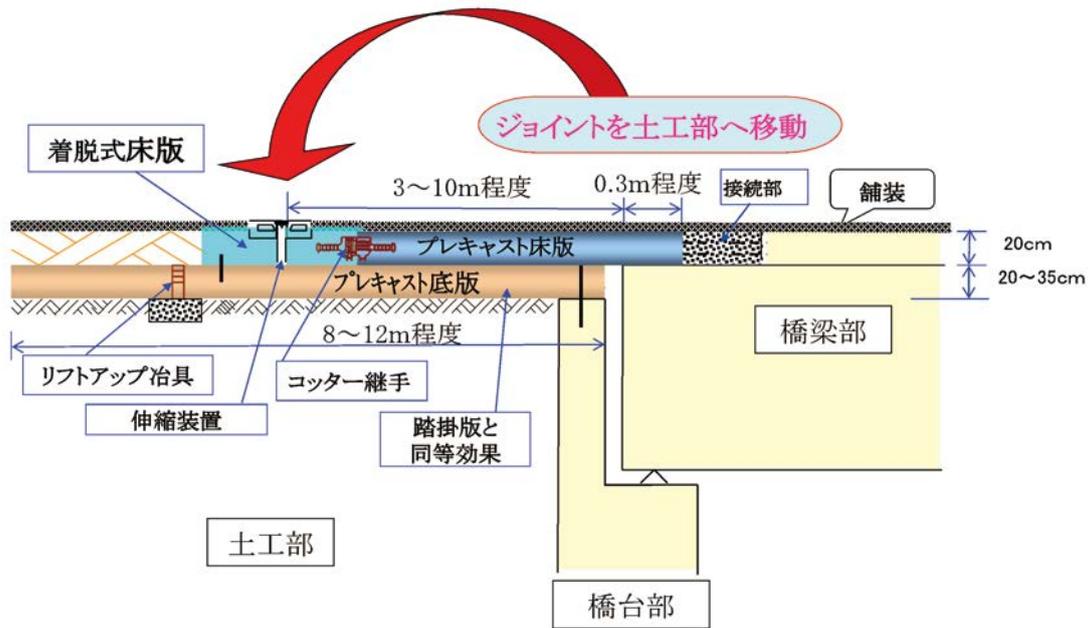


図 2.5.6 延長床版の構造概要



写真 2.5.5 延長床版の施工状況

## 2) 桁端部の維持管理性に配慮した構造例<sup>6)</sup>

桁端部の維持管理性に配慮した構造として、主桁の伸縮装置をパラペット側に張り出し、その下側・橋台上部に排水溝を設けた構造が提案されている。構造概要を図 2.5.7 に示す。

伸縮装置から万一、漏水が発生しても直下の排水溝で受け止めることができ、主桁端部や支承に水が回ることを防ぐことができる。排水溝には人が入れる大きさが確保され、漏水状況を直接目視確認することができ、また土砂の清掃など維持管理が容易である。

本構造は、現時点では新設構造物への適用のみで、床版更新工事での適用事例はないが、工程に影響の少ないプレキャスト構造の開発がすすめられており、今後、RC 床版更新への展開が検討されている。

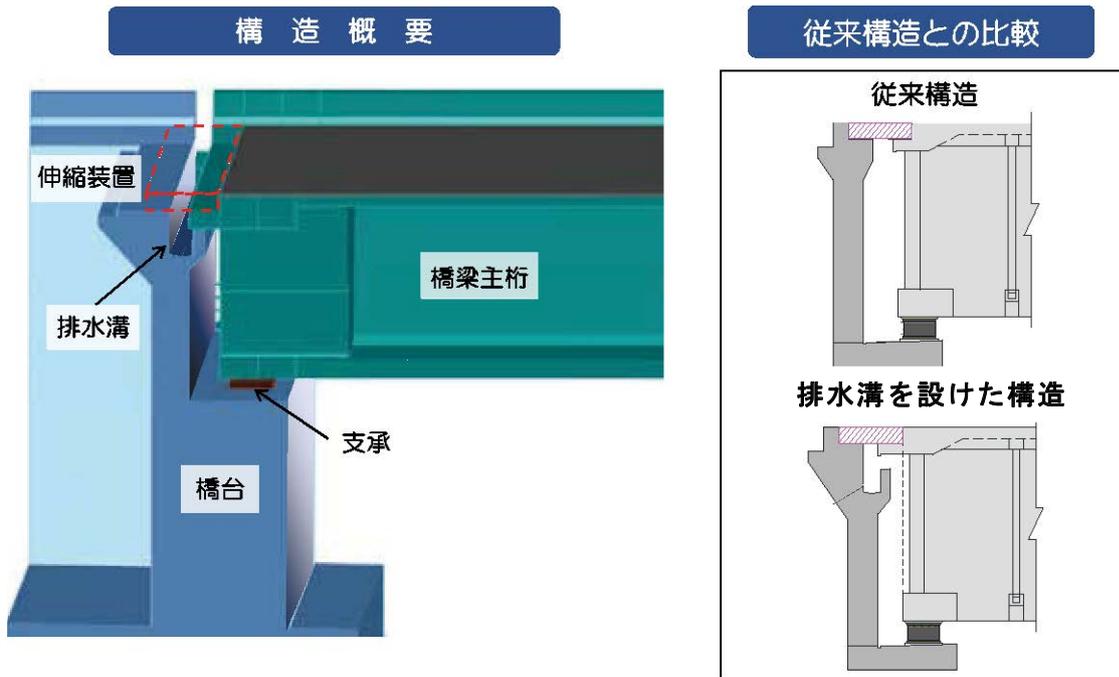


図 2.5.7 桁端部の維持管理性に配慮した構造の例

## (2) 床版防水工および舗装

### 1) 床版防水工

コンクリート床版は、水が浸入すると交通荷重による疲労や路面凍結剤散布による塩害などの劣化が急速に進むことから、床版の耐久性の向上を目的として床版防水層を設置する。地覆の側面にも防水層を施すことから、一般的に床版と壁高欄の施工が完了した後に床版防水層を施工する。

床版防水層（1.6.1 項参照）の施工に際しては、床版コンクリートと防水層をしっかりと接着させるために実施する研掃や床版表面の補修などの床版面の下地処理が重要となる。プレキャスト PC 床版などのように間詰め部のある床版では、打ち継ぎ目部の段差や間詰め部表面の不陸などにより下地処理に影響が生じる可能性があるため注意が必要である。

施工技術については、主に塗膜系防水層において樹脂系塗膜防水の自動散布装置（写真 2.5.6）などの省人化技術の導入が進められている。



写真 2.5.6 樹脂系塗膜防水の自動散布装置

## 2) 舗装

コンクリート床版の舗装は、基層と表層の2層により構成され、床版防水層を設置した後に敷設される。アスファルト混合物を用いた標準的な舗装を採用した場合には、RC床版更新においても新設橋梁工事等と同様に1日約2000m<sup>2</sup>程度の施工が可能であり、舗装の施工期間短縮が課題になるケースは少ないが、1夜間の限られた時間内での施工が求められる夜間規制昼間交通開放などの制約下においては、一時的な仮舗装も含め舗装の高速施工も重要となる。

## 3) 今後期待される技術

床版防水層の施工は、床版の品質によって床版上面の研掃や表面の補修などの下地処理の作業量が変わり、雨天時にはプライマーが施工できないなど天候の影響も受けるため、下地の状況に左右されずに床版防水の品質を確保でき、さらに施工期間を短縮できるような技術が求められる。

近年、RC床版における舗装の工程短縮と床版の耐久性向上を目的として、基層にグースアスファルト混合物を用いる方法が検討されている。床版防水層を省くために床版防水層と同等以上の防水性能を満足することが前提となる。床版上面の状況に左右されずに施工が可能で床版防水と舗装に要する施工期間を短縮できる。将来的に床版更新への適用が期待される。

## 参考文献 (2.5 道路付属物の高速施工と耐久性向上)

- 1) DAK式プレキャスト壁高欄工法研究会：DAK式プレキャスト壁高欄「設計・施工ガイドライン」，2018.
- 2) 岩城孝之，磯部龍太郎，関雄太，富永高行：新型プレキャスト壁高欄（EMC壁高欄）の開発（その1），土木学会第72回年次学術講演会，VI-635，pp.1269-1270，2017.
- 3) 藤岡泰輔，内堀裕之，三加崇，永元直樹：拡径鉄筋を接合構造に有するプレキャスト壁高欄の開発，プレストレストコンクリート工学会，第26回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.205-208，2017.
- 4) 大山博明，古村豊，山村智，キア・チェン・メーン：急速施工と高耐久化を目指したプレキャスト壁高欄の開発，(株)ピーエス三菱 技報第14号，2016.
- 5) 東・中・西日本高速道路株式会社：設計要領 第二集 橋梁建設編，2016.
- 6) 三保雄司，花田克彦，曾根雄二，花井崇：東九州自動車道 征矢原川橋の施工，プレストレストコンクリート工学会，第23回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.559-562，2014.