

小特集

道路橋コンクリート床版

プレキャスト床版の開発現状と研究の動向

松井 繁之*

1. ま え が き

道路橋の床版としてプレキャスト床版(以下、PCa床版と言う)を使用することはすでに30年程度の歴史を有している。最初は道路橋のRC床版のひび割れ損傷事故が昭和40年代初頭に現れだした時と同じくしている。この時期は高速道路の黎明期であり、その後の飛躍的な増加が大いに期待されるが、橋梁工事における現場作業の省力化と経済性を画らなければならないとの予見から、PCa床版の研究熱があったようである。

第二の開発ブームがここ数年のもので、第二東名・名神の建設計画と、橋梁建設費のコスト縮減が強く要求されたためである。ごく最近では、各道路機関とも橋梁構造設計・建設について公募提案型を求めるがゆえに、床版と支持桁を一体的に考える必要があることと、床版の耐久性保証という性能要求にも応えられるものと認識されているためである。

今回、永年にわたり床版の研究をしていることから、筆者に道路橋のPCa床版の開発現状と研究の動向について総論的論説執筆の要請があり、浅学非才を省みず、これをお引受けした次第である。筆者の経験の範囲で独断と偏見で研究を含めた技術水準について考察してみたい。

2. なぜプレキャスト床版か

現場作業の省力化のためにPCa床版を使用しようとする傾向は、現場熟練技術者の不足に起因するものであり、また、既設橋の床版取替えでは長期にわたる交通遮断ができないためであり、恒常的な傾向と言える。しかし、最近のPCa床版開発の熱は、コスト縮減と公募提案型設計の要求に応える手段として考えられていると推察できる。ただし、強度、耐久性について深く考えて床版構造を提案している例は多いとは言えない。架設方法を考慮した継手を付与しているとか、取替えが可能な構造としたとか、現場施工が簡単であるとか等が強調されている。適切な耐久性と破壊安全性を考慮して床版厚をRC床版より何cm薄くしたと

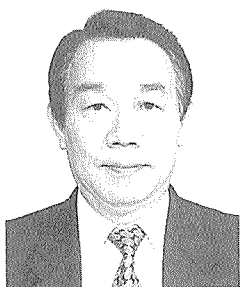
か、この床版の疲労寿命は何年であるとか、絶対に水が浸透しない構造にしたとかを強調した床版自身の開発技術例は少ないのではないだろうか。このような後者の床版特性についてはどこかの研究機関でもやってくれるものと考えられてはいないだろうか。技術開発を目指す企業は、この公募提案型の時代要求に対応できるよう純技術的な技術開発を行い、高い技術を蓄積すべきであろう。

本節では、参考のために、筆者が輪荷重走行試験機によって得た、従来のRC床版の損傷機構を紹介し、それに対して耐久性のある床版はどのように目指すべきかという私見を述べることにする。

2.1 現場打ちRC床版の疲労破壊機構

図-1は道路橋RC床版の疲労破壊過程を概説したものである²⁾。現場打ちコンクリート床版では乾燥収縮のため、未供用の床版でも貫通ひび割れが発生している場合もあると報告されている³⁾。この乾燥収縮ひび割れは、支持桁が床版コンクリートの乾燥収縮を拘束するため、橋軸直角方向に発生する。未供用時に初期ひび割れがなくても、輪荷重載荷によって直交2方向に曲げモーメントが発生するので、橋軸方向の乾燥収縮ひび割れにこの曲げによるひび割れが重なり、床版下面では橋軸直角方向のひび割れが先に発生することになる。その後、(a)図のように格子状になる。同時に、床版上面にも(b)図のような橋軸直角方向のひび割れが大きな間隔で発生する。一般に、厚さが18~22cm程度の床版では40~50cm程度の間隔となる。この上面ひび割れはねじりモーメントに起因するもので、支持桁付近で卓越するので支持桁付近から床版中央へと進展する。ひび割れ開始点での表面の引張主応力が交番し、輪荷重走行の繰返しによって発生するため、疲労ひび割れであると説明できる。そして、繰返し回数が進むと、これら上下からのひび割れがドッキングして、貫通ひび割れとなる((c)図)。この結果、異方性が進み、橋軸方向への荷重分配効果は低下し、主鉄筋断面の荷重負担が増加する。

その後も輪荷重の走行によって、ひび割れはあまり増加しない状態が継続するが、たわみは徐々に増加する。これはこれらの貫通ひび割れに作用するせん断力とねじりモーメントが交番断面力で、それらの繰返し作用によってひび割れ面の摩耗が進行するためであると実験観察から説明できる。実験中、この段階に達した床版では、下面ひび割れからコンクリートの粉が多量に落下するのが観察される。ついに、(d)図のように配力鉄筋のみが連結しているだけの、主鉄筋方向のはり状となる。このはり幅の平均は40~50cmであるので、当然、この断面には過大な断面力が作用することになり(異方性による荷重分配作用の低下と過小な有効幅のため)、この断面は急速なせん断疲労を呈して破壊



*Shigeyuki MATSUI
大阪大学 工学部 土木工学科 教授

する。これが最終破壊である。

実橋ではこれらのすべての段階の現象に対して舗装から浸透した雨水が影響し、疲労破壊寿命を大幅に短縮させている。筆者の実験⁷⁾からの推定によると50倍から300倍にも加速されるようである。

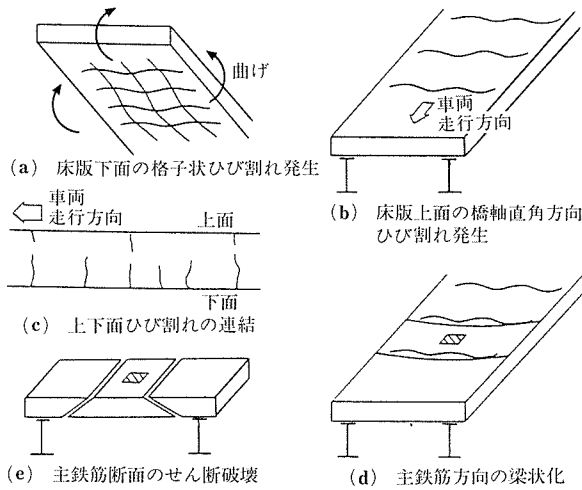


図-1 RC床版の損傷過程

2.2 プレキャスト版による床版耐久性改善の機構

2.1項で述べたRC床版の破壊機構はすべて疲労過程であり、PCa床版でどのように、どの疲労過程が改善できるか、あるいは、すべきかについて考えてみる。

図-1の(a)、(b)図の初期ひび割れに関して、PCa床版は大幅に改善できていると言える。すなわち、パネルのPCa版(以下PCaパネルという)は工場製品であり、単体で製作するため、コンクリートの乾燥収縮に対する拘束は内部の鉄筋のみであり、拘束度は非常に小さい。また、現場に架設されるまでには相当な日数が経過しており、架設後の乾燥収縮ひずみは大きくならず、活荷重モーメントによるひずみとの累積ひずみは当然小さく、ひび割れ発生荷重が大きくなるか、あるいは、発生寿命が延びている。

PCaパネルが主鉄筋方向(橋軸直角方向)にプレストレスされている場合には、橋軸方向ひび割れは出にくく、橋軸直角方向ひび割れが卓越する。しかし、橋軸直角の主鉄筋断面の剛性が大きいため疲労の進行が抑制される。すなわち、初期状態から大きな異方性が発現し、橋軸方向断面の荷重分担が減少して、ひび割れ面の摩耗速度が小さくなると思われる。また、図-1(c)、(d)のような貫通ひび割れ間隔がPCaパネルの幅程度になると考えられ、その幅が1.5~2m程度であるので、有効幅が大きくなって主鉄筋断面の疲労速度はさらに小さくなる。

橋軸方向にポストテンション方式によりプレストレスを導入する場合には、橋軸直角方向ひび割れを防止できるとともに、床版は橋軸方向の剛性が高い異方性板として挙動するので、輪荷重に対する有効幅が大きくなり、飛躍的な耐荷力増と疲労寿命増加をもたらす。表-1は同じ床版厚のRC床版(18cm厚)とプレストレスした床版(供試体名SBの後の数字が床版厚cm単位)に関する筆者の疲労実験例であ

るが、橋軸方向プレストレスを与えると大きな荷重で多数回の載荷を行っても破壊の兆候は現れず、疲労耐久性の高くなることが認められたよい実験例である⁹⁾。

表-1 各供試体の載荷荷重と走行回数

供試体	15t	18t	21t	水張15t	試験終了時の床版の状態
1 SB18	50万	100万	22万	—	破壊の徴候なし
2 SB16	52万	100万	—	20万	破壊の徴候なし
3 SB18a	50万	100万	—	—	破壊の徴候なし
4 RC16	50万	13万	—	—	格子状のひび割れ
5 RC床版	—	34万	—	—	せん断破壊
6 RC床版	—	—	21万	—	せん断破壊
7 RC床版	—	—	—	20万	せん断破壊

直交2方向にプレストレスを導入する場合にはもはや無限大と言える疲労耐久性が期待できるものと推測される。また、橋軸方向にプレストレスを入れたPCa床版の疲労実験を水張り状態で行ったが、水に対する抵抗性が高く、コンクリートが粉砕される骨材化現象は発生しなかった¹⁰⁾。

橋軸方向プレストレスをしない場合や、パネルとパネルの継手部の充填コンクリートの施工が悪い場合には早期に水が漏れ、その部分の骨材化はやはり発生する。また、水が漏れることによる床版下面の汚れや、内部の鋼材の腐食が心配されるので、プレストレスしない場合には、継手部上面には適切な防水工を設置する必要がある。ちなみに、第二東名の東海大府高架橋では防水工を設置することが規定されている⁸⁾。

3. プレキャスト床版の分類と技術の現状

PCaパネルは現在のところ、橋軸直角方向に長く、橋軸方向に短い短冊状のものに限定されており、橋軸直角方向を主鉄筋方向としているのが一般的である。これまで、多種多様なPCaパネルが国内外で開発されている⁷⁾。これらを種々の観点から分類し、研究も含めた技術の水準について考察したい。

3.1 PCaパネル製作時のプレストレスの有無による分類

工場製作時において、主鉄筋方向にプレストレスを与えたPC-PCaパネルと、普通の鉄筋コンクリートのRC-PCaパネルがある。前者がほとんどで、プレストレスにより主鉄筋断面の強度を同じ厚さのRC床版より著しく向上させている。輪荷重に対する抵抗性を高めるとともに輸送時の強度を確保している。

この方向のプレストレス量は多くの場合、フルプレストレスにするために50~80kg/cm²程度のプレストレスを与えている。必要最小限の耐久性があればよいとの判断を下すことができたとしても低いプレストレス量で十分であろう。この方向のPC鋼材にはストランドが一般的に用いられ、RC床版の主鉄筋のように上下2段に配置したものが多い。プレストレス量を減らすことができる場合には、中央の一段でもよいのではないかと考えられる。ただし、これらのPC-PCaパネルを並べた床版についての輪荷重走行試験機による疲労実験はいまだ多くは報告されておらず、床版として要求される疲労強度の情報は乏しい。現在のところ、

このPCaパネルの厚さはRC床版の0.9倍とし、設計輪荷重下においてフルプレストレスになるプレストレス力量を設計している。今後、疲労実験に基づいた適切な厚さの設計法の確立が望まれている。

RC-PCaパネルの場合、橋軸方向にポストテンション方式によってプレストレスを導入することを前提としており、RC床版の破壊機構で述べた橋軸直角方向の貫通ひび割れの発生防止、あるいは、これを著しく遅延させる効果を与えている。この種の床版に関しては、輪荷重走行試験による疲労実験研究があり、先に述べた、RC床版の厚さの0.9倍よりも低減できる可能性を示唆している⁹⁾。また、橋軸方向プレストレスをしない途中状態で交通開放した場合、ひび割れが発生するが、プレストレス後にはこれらのひび割れの影響がないことを報告している。

3.2 橋軸方向プレストレスの有無による分類

PC-PCaパネルでも、橋軸方向プレストレスを与え、2方向プレストレスを与えるのがこれまでの一般的な考えであった⁷⁾。この方法では表-2に示すように、PCa床版設置から床版工事完了までの工数が多く、施工日数も多いのが難点と指摘されてきた。

そこで、現在建設中の第二東名高速道路・東海大府高架橋では、この継ぎ手の施工を極力簡素化するため、橋軸方向プレストレスをしない構造が採用された。すなわち、図-2(c)に示すようなループ継手を採用したのである。この継手の信頼性については輪荷重走行試験機による疲労実験によって確認されている^{8),9)}。

特殊なものとして、取替え可能なPCa床版として開発されたものがあり、これは全パネル内を連続してプレストレスを入れるのではなく、たとえば、横桁間づつで床版下面に定着部を出してこの間の複数枚づつにプレストレスを導入するものである。事故でも生じた場合、横桁間の数枚だけを切り替えられる¹⁰⁾。

表-2 内ケーブル方式の工程表

工 種	日 数			
	5	10	15	20
PCa版の敷設	■			
継手部コンクリートの打設・養生	■	■		
縦締めPC鋼材の配置・緊張	■	■		
グラウト			■	
ずれ止め用孔モルタルの打設・養生			■	
端部床版の型枠工・配筋		■	■	
コンクリート打設・養生			■	■
型枠の脱型				■

稼働率を0.8とすると18/0.8=23日

3.3 継手部構造による分類

PCaパネルはトラック輸送されるため、ある有限の大きさに制限される。一般的にトラックの幅から、PCaパネルの幅は1.5~2m程度とされてきた。長さについては警察の許可を得ると25mまでは可能であるが、橋梁の全幅員を考慮してもそれほど大きくはならず、最近では全幅員分の長さのものを製作・運搬している。よって、PCaパネル間の継手というのは幅方向の橋軸方向継手のみとなる。

この継手を大きく分類すると、以下の4種となるであろう。

継手幅がゼロのもの(a)、約5cm程度のもの(b)、20~30cm幅のもの(c)、および、特殊なもの(d)である。

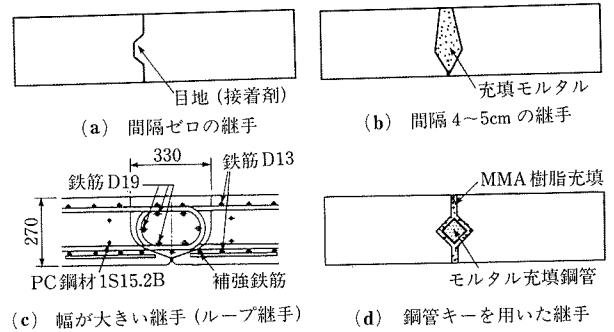


図-2 プレキャスト床版の継手種類

(a)は、一般的に、橋軸方向にポストテンションによるプレストレスが導入されるもので、継手相互の面には接着剤を塗り、止水している。プレストレスによって曲げ応力は伝達できるが、せん断に対しては摩擦によって抵抗すると仮定するが、接着面にせん断キーを設けて補強することが多い(図-2(a))。この継手はPC桁で言うマッチキャストのものに類似しているが、支持桁上にこれらの版を順次敷設する場合には、水平方向で若干離れた状態で鉛直に降ろし、桁に接触する直前で水平方向に横移動する手順を必要とする。

(b)は、PCaパネル相互の接合面に若干の窪みをつけて、両パネルの間に、モルタルを充填し、これにせん断キーの役目を与えようとするものである(図-2(b))。この場合、上記のような設置時の複雑な手順がいらないのが特徴となる。ただし、充填モルタルの乾燥収縮が発生すると、断面力伝達機能が低下するため、若干の膨張剤を入れたものにするか、無収縮モルタルが使用される。この継手の場合もポストテンションによるプレストレスを導入する機会が多い。

筆者は以前に歩道橋であったが、図-2(d)のようにモルタル充填鋼管角柱をせん断キーとし、両PCaパネルの間に、防水性のあるMMA樹脂を入れたことがある。5年後の調査でまったく水漏れがなく、健全であったとの経験を持っている。この場合、橋軸方向プレストレスは導入しなかった。

(c)は、先にも述べたように、継手幅を大きくして、コンクリートを充填するものである。内部には鉄筋を配置し、断面の抵抗強度を母床版並みに確保している(図-2(c))。よって、この継手の場合には、橋軸方向プレストレスが導入されない。ただし、このような大きな幅の継手においても現場での下面からの作業をなくし、経費節減を図るため、両PCaパネルの継目部にあごを付けて型枠を省略する工夫が施されている。架設時の破損や、間詰めコンクリートとの付着が悪い場合にはその部分で断面剛性の低下をきたすので注意が必要である。

(d) その他 以上の3種のほかに現在開発されている継手

にメカニカル継手・合成構造継手が挙げられる。これらは、橋軸方向プレストレスを与えないもので、かつ、鉄筋を配置せずに間詰めモルタル充填ですむように簡素化したものである¹¹⁾¹²⁾。輪荷重走行試験による疲労実験から、力学的には問題ない構造と評価できるものである。充填モルタルに膨張剤を使用するか、せん断キーを併用することなど、現在も検討中である。

3.4 床版形状による分類

これまで開発されたほとんどのPCaパネルは上下面とも滑らかな平面状のものが多く、これは製作が簡単なため経済的である。桁との結合部でのハンチがなく、PC-PCa床版の場合には特にこれを省略できると考えられているようである。

プレストレスを入れないRC-PCa床版ではRC床版に準じてハンチが設けられている。ハンチの役目は、支持桁上の負の曲げモーメントに対して大きな断面剛性で抵抗させることと、横断勾配をこのハンチで調整することにある。

筆者は、床版支間を変えた3体の床版の疲労実験を行ったが、最も小さな支間のものが最も寿命が短くなることを確認した¹³⁾。床版の解析から、この理由は、荷重が支持桁に近づくほど、輪荷重の支持桁に平行な辺に沿って発生するせん断力が大きくなることに原因していると説明できる。この経験から、連続版の場合、ハンチがない床版では輪荷重が支持桁付近に乗ると発生せん断力が大きくなって疲労寿命の低下が懸念される。PC-PCa床版では疲労強度が高いためこのような問題はないようであるが、RC-PCa床版ではハンチを設ける方がよいと考えている。

形状に関して、特殊なものが本号の別稿にあるように、チャンネル形状のものが考案されている。各種実験によってこの形状の合理性が確認されている⁶⁾。詳細はこの別稿を参照されたい。

また、純プレキャスト床版ではないが、7cm厚程度のPCパネルを桁上に並べ、この上にコンクリート床版を打ち足し、両者を合成させるプレキャストPC埋設型枠合成床版工法、あるいは、ハーフPC合成床版工法と呼ばれるものもある。引張側にひび割れ難いPCaパネルを使用しているので、疲労耐久性は高いようである¹⁴⁾。しかし、輪荷重走行試験機による疲労実験の報告はまだない。

3.5 支持桁との接合による分類

支持桁との接合の一般的な方法は、PCaパネルの所定の位置でコンクリートの箱抜きをしておき、支持桁上に設置後、この孔よりスタッドを打ち、その後にモルタルあるいはコンクリートを充填して結合する方法が採られている。

ハンチのあるPCa床版では単純にこの箱抜き部分だけの充填であるが、ハンチのないフラットの床版では支持桁フランジのエッジに沿ってモルタル止めスポンジシールを付け、床版下面とフランジ面の間を1cm程度のすき間を開けてこの全面にモルタルを充填して付着をとるものもある⁷⁾。また、スポンジシールの代わりに鋼のフラットバーを溶接し、これをシール材とし、かつ、高さを変えて横断勾配を調整しているものもある。ただし、直線の横断勾配の場合が多い。

なお、これらの接合において、PCa床版と支持桁との結合度の違いを考慮するとより複雑になる。すなわち、非合成とするのか、合成構造とするのかで、ずれ止め量を変えなければならない。合成桁の場合、スタッドの本数が多くなって、箱抜き孔の個数や大きさが大きくなると、その縦断面の剛性低下が大きくなりパネルが輸送中に破損する恐れがある。このため、スタッドを群配置することによって箱抜き面積を小さくするなどの配慮が必要となる。

3.6 橋軸方向プレストレスのケーブル配置による分類

床版内にシースを配置しておき、支持桁に設置後にケーブルを挿入してPCaパネルを一体化する方法では、一般的に表-2のような施工工数が必要となり、現場作業が複雑で施工期間が多くなる。この欠点を補い、かつ、有効なプレストレスを導入する方法として外ケーブル工法の採用が考えられる。床版に圧縮のプレストレスを導入するにはケーブルの配置は桁との合成断面の中立軸より上側が最も効率が良いが、既存橋梁では支持桁の耐荷力不足も補うことなどを考えると中立軸より若干下側で、直線配置によって外ケーブルを緊張するのが良いと言える。外ケーブル配置には、この直線配置方法のほかに、キングポスト形状やクイーンポスト形状で配置できるが、床版にプレストレスを導入しようとする場合には直線配置が効果的である。

外ケーブル工法には、全PCaパネルを支持桁に設置した後にプレストレスを与えるポストテンション方式と、支持桁のみの状態で先にプレストレスを与えて上側に反りをつけたままPCaパネルを設置し、間詰めモルタルを施工した後で、与えておいたケーブルの緊張力を緩めて床版にプレストレスを導入するプレテンション方式の2種がある。これらの方法の手順は表-3、4に示すとおりで、施工工数が減り、工期の短縮が期待できる。

表-3 外ケーブルポストテンション方式の工程表

工 種	日 数			
	5	10	15	20
PCa版の敷設	■			
ずれ止め用孔モルタルの打設・養生	■	■		
継ぎ手部コンクリートの打設・養生	■	■	■	
外ケーブル配置・緊張		■	■	

稼働率を0.8とすると11/0.8=14日

表-4 外ケーブルプレテンション方式の工程表

工 種	日 数			
	5	10	15	20
外ケーブル配置・緊張	■			
PCa版の敷設		■		
ずれ止め用孔モルタルの打設・養生		■	■	
継ぎ手部コンクリートの打設・養生		■	■	■
外ケーブル緊張力リリース				■

稼働率を0.8とすると16/0.8=20日

筆者はこの工法を合成桁の新設および既存橋梁の補強に採用し、合成桁の復権を画りたいと考え、一連の研究を行っている^{15) 16)}。表-5、図-3は床版厚6cmのRC-PCa床版を用いて橋軸方向のプレストレス量を変化させた場合の疲労耐久性向上に関する疲労実験結果である。プレストレス

量ゼロのRC床版の疲労寿命を基準として比較した図から、プレストレス量の増加によって寿命が指数関数的に増加することが確認できた。技術的には15kgf/cm²程度のプレストレス力導入で十分な耐久性が得られるのではないかと考えられる。このような実験報告は初めてであり、今後は実物大床版によってもこのような傾向を確認したいと思っている。

表-5 使用限界寿命と破壊寿命

供試体	使用限界寿命	破壊寿命
RC	20000	140800
PC-1	386000	391500
PC-2	868000	950500
PC-3	753600	
PC-4	2098700	

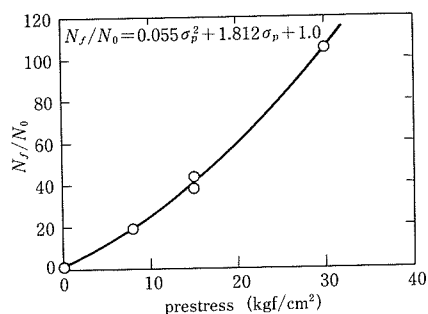


図-3 使用限界寿命とプレストレス力の関係

なお、外ケーブル方式による橋軸方向プレストレスを導入する場合には、プレストレスの弛めと再締めが簡単にできるので、事故等によって損傷を受けたPCaパネルの取替えが可能である。

4. 今後の技術開発・研究の展望

上記の分類を組み合わせた場合、PCa床版の種類は非常に多くなる。これらの組み合わせたものについて、各々の耐荷力や疲労性状を求めることは大変な時間と経費が必要であり、不可能に近い。よって、代表的なものについて実験や解析を行い、応用研究を行う必要がある。筆者もこれまで数種のPCa床版の疲労実験を輪荷重走行試験機によって行ってきたが、全般的にPCa床版そのものの強度は高いと認識している。問題となるのは継手の構造であり、現場での施工性と疲労耐久性を満足するものでなければならない。それ自身に止水性が要求されるが、防水工を設置する場合にはその要求度はそれほど深刻なものでなくてよいと考えられる。ただし、あまりにも機能が落ちる継手を採用すると、その上の舗装の寿命が短くなり、使用性が問題となるであろう。よって、継手構造の最適解というのは舗装の寿命との相関で得られるものと言える。タイヤ荷重によって輪荷重走行試験を行える装置の下で、舗装付き床版の疲労実験を行う必要がある。

現在、床版では静的耐荷力や各部の応力状態よりも、疲労に特に注意を払うべきであるとの認識が高くなっている。これはRC床版の損傷に原因していると思われる。しかし、PCa床版を用いる場合にはRC床版のような押抜きせん

断破壊状の疲労破壊は発生せず、内部の鉄筋やPC鋼材の疲労が問題となると予想される。このような疲労現象と疲労強度についても輪荷重走行試験機による疲労実験によって確認することは間違いではないが、より効率的な方法があってもよいと考えられる。

また、床版と言えば、主鉄筋方向が橋軸直角方向のものが多いが、橋軸方向にとってもよいと言える。押抜きせん断疲労強度は前者のものより大きくなるものと予想している。この場合、支持桁間に多くの剛な横桁を配置する必要があるが、2主桁構造にすれば経済的には競合できるものと考えられる。

現在、床版支間は鋼橋では4mまでであるが、東海大府高架橋のような6m支間のものが今後多数設計されると思われる。現在の設計法の準用だけでは済ますことはできず、設計曲げモーメント式など早急な設計法の確立が望まれている。PC-PCa床版を用いる場合の床版厚は現行の示方書ではRC床版の0.9倍と規定されているが¹⁷⁾、それよりもさらに小さくできる可能性はある。ただし、薄くしすぎると変形しやすくなり振動問題など新たな問題が生起することもあるので、慎重な配慮で床版設計法は考えられなければならないであろう。

参考文献

- 1) 角田・山寺・関沢・北島：首都高速道路5号線に採用したプレキャスト床版、橋梁と基礎、Vol.5, No.3, pp.34-43, 1971.
- 2) 前田・松井：移動輪荷重走行装置による道路橋床版の疲労に関する研究、第6回コンクリート工学年次講演会論文集、pp.221-224, 1984.
- 3) 松井ほか：RC床版の耐荷力と耐久性、土木学会関西支部昭和60年度講習会テキスト—既存橋梁の耐荷力と耐久性—、pp.25-116, 1985.
- 4) 松井：移動荷重を受ける道路橋RC床版の疲労強度と水の影響について、第9回コンクリート工学年次論文報告集、pp.627-632, 1987.
- 5) 栗原・金崎・金田・松井：橋軸方向プレストレスによるRCプレキャスト床版の疲労耐久性の向上、第6回プレストレスコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、pp.155-158, 1996.
- 6) 真鍋・林・松井：チャンネル形状プレキャストPC床版の開発、プレストレスコンクリート、Vol.20, No.2, 1998 (本号内)。
- 7) 中井 博編：プレキャスト床版合成桁橋の設計・施工、森北出版、1988.
- 8) 松井・角・向井・北山：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、第6回プレストレス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.
- 9) 森山・橋・松井・牛島：ループ継手を有するプレキャスト床版接合部の疲労耐久試験、土木学会第50回年次学術講演会概要集 I-152, 平成7年.
- 10) 横河ブリッジ・横河工事：新形式プレキャスト床版の開発、横河テクニカルパンフレット No.1.
- 11) 石井・松井・鈴木：メカニカル継手を有するプレキャスト床版の動的強度特性、土木学会第50回年次学術講演会概要集 I-155, 平成7年.
- 12) 金・松井・石井・小野辺：改良型メカニカルアンカーを用いた床版の疲労形状改善について、土木学会第51回年次学術講演会概要集 I-A486, 1996.
- 13) 松井・野村・箕作：疲労強度に与える床版支間の影響の実験的評価、平成2年度土木学会関西支部学術講演概要集 I-4, 1990.
- 14) 土木学会コンクリート委員会、PC合成床版工法に関する研究小委員会：PC合成床版工法設計施工指針 (案)、土木学会コンクリートライブラリー 62号, 昭和62.
- 15) 松井・東山：外ケーブル方式によるコンクリート床版へのプレストレス導入に関する研究、プレストレスコンクリート技術協会第6回シンポジウム論文集、pp.159-162, 1996.
- 16) 松井・東山・林：外ケーブルによりプレストレスした合成桁橋プレキャストRC床版の力学性状の向上に関する研究、鋼構造論文集 第4巻第13号, 1997.
- 17) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編・Ⅲコンクリート橋編, 1996.

【1997年12月4日受付】