

### 第3章 構造

#### 3.1 床版の形状

##### 3.1.1 床版の支間長および張出し長

アンケート調査結果によれば、PC床版の支間長は4m以上のものが53橋、4m未満が7橋であり、道示におけるRC床版の支間長制限値4mを越えるケースが全体の88%を占めた。（図-3.1.1 ただし、打ち替え床版を除く）

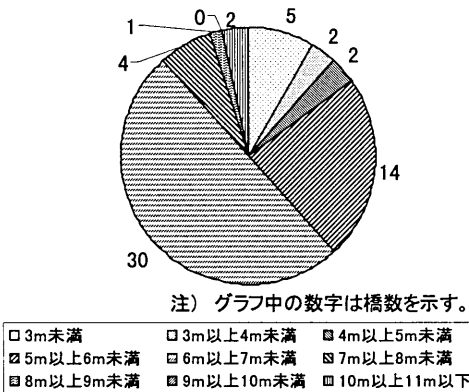


図-3.1.1 床版支間

このうち、床版支間を6m程度（5.5m～6.5m）としたものが42橋と最も多かった。

また、床版支間4m未満のものは、全てプレキャスト床版が使用されており、6m程度の床版支間では場所打ち床版とプレキャスト床版の双方が使用されていた。

調査した中で床版支間長が最も長かったのは蕨科川橋の場所打ちPC床版で、その床版支間長は11mであった。プレキャスト床版では床版の支間長が7mを超えるものは6橋あり、最長は8.1mであった。

プレキャスト床版の張出し長さは1.5～2.0m程度が多く、最長は3.15mであった。また移動型枠による場所打ち床版では張出し長さを2.3～3.0m程度としているものも多く、固定型枠による場所打ち床版では2.0～3.0m程度が多い。

また図-3.1.2に示すように、主桁間隔と張出幅とのスパン比では、単純版の場合0.4～0.5、連続版の場合0.3程度が最も多かった。

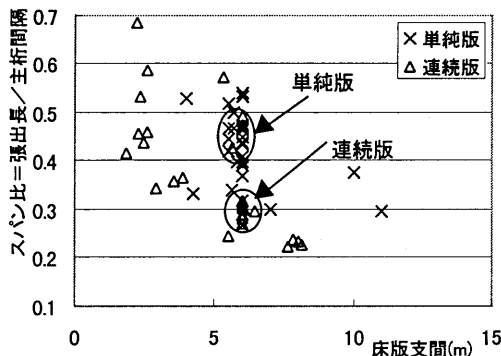
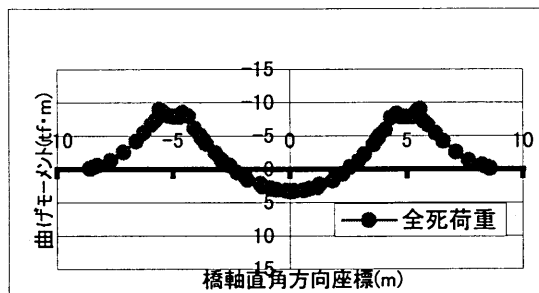
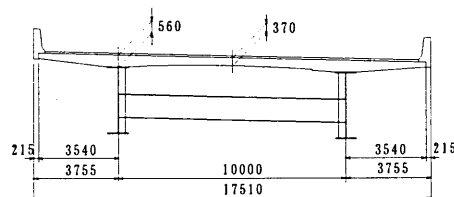


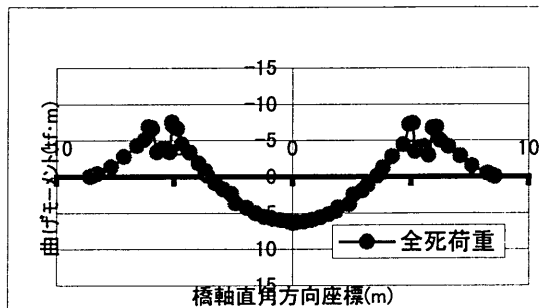
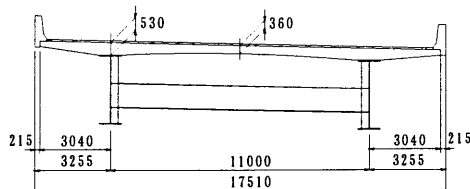
図-3.1.2 床版支間とスパン比の関係

ここで注意しなければならないのは、いわゆる鋼少数主桁橋の特徴として例えば6mとか11mといった長い床版支間に目を奪われがちであるが、張出し床版長も長くなっている点である。図-3.1.3は、床版支間10mと床版支間11mの2主桁橋における死荷重によって発生する床版の橋軸直角方向の曲げモーメントをFEM解析から求めたグラフである。床版支間中央に作用する死荷重による曲げモーメントが非常に小さいことと、主桁直上に大きな負の曲げモーメントが発生していることが判る。

すなわち2主桁橋の場合は、床版支間中央における死荷重による床版の橋軸直角方向の曲げモーメントをゼロにすることも可能な床版の支間バランスがあり得るが、その場合には主桁直上に大きな負の曲げモーメントが発生するという、単純版より連続版に近い挙動を示すので、主桁配置を決定する際には十分な注意が必要である。



床版支間10m（中之沢橋）



床版支間11m（蕨科川橋）

図-3.1.3 2主桁橋の床版に作用する死荷重による橋軸直角方向の曲げモーメント

道路建設に関する回覧（ARS）<sup>1)</sup>では、2主桁橋の場合の合理的な床版支間バランスの一例として、0.4 : 1.0 : 0.4 を挙げている。例えばこれを幅員 12m の橋梁に適用すると図-3.1.4 のようになる。

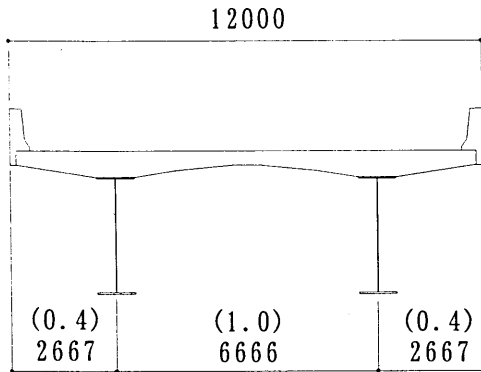


図-3.1.4 合理的な床版支間バランスの例

### 3.1.2 床版の形状

場所打ち床版では、等厚の床版にハンチを組み合わせた従来の断面形状が用いられることが多いが、床版支間が 10m を超える葦科川橋や中之沢橋では、床版下面を曲線としたアーチ形状が用いられている（図-3.1.5）。

床版下面を曲線としたアーチ形状の床版を採用した主な理由は以下のようなことである<sup>2)</sup>。

- ・ハンチをなくすことにより断面急変部がなくなるため、応力伝達が滑らかになり、床版の疲労耐久性が高まるとともに、プレストレス導入時の局部応力の発生も避けられる。
- ・みかけの床版支間を小さくできる（単純版→連続板、+アーチ効果）ため、床版に作用する断面力の低減効果が期待できる。
- ・P C 鋼材の配置が直線に近づくため、施工性が改善され、摩擦損失や二次力による床版のそりを低減できる。

床版支間長が 11m もあって床版支間センターの床版厚が 36cm というのは驚きに値する。このような形状の床版を作るには施工面における若干の工夫は必要となるものの、ヨーロッパなどにおける長支間床版でも類似の形状を採用している例も多く、今後の有力な床版形状のひとつになってくる可能性がある。ただしハンチをなくした場合には鋼桁架設後のカンバー出来形誤差をハンチで吸収することができなくなるという問題がある。床版厚にはマイナスの施工誤差が許されないことが多いから、ハンチをなくす場合にはカンバー出来形管理を慎重に行う必要がある。

一方、プレキャスト床版には、橋軸方向断面が矩形断面（図-3.1.6）のものと、リブ付断面（図-3.1.7）のものがある。床版下面をアーチ形状にしたような例はまだない。

プレキャスト床版の橋軸方向の断面幅は、リブ付断面のものでは 1.5m 程度のものが多いが、矩形断面のものでは

1.0~2.7m 程度の範囲内にあり、2.0m としているものが最も多い。

リブ付断面のプレキャスト床版は、床版支間長=2.5m 程度で、橋軸直角方向にはプレテンション、橋軸方向にはボストテンションで 2 方向のプレストレス力を導入している例が多い。また床版の継ぎ目には鉄筋を用いず、目地に無収縮モルタルを充填して、橋軸方向の P C 鋼材緊張力で一体化している。

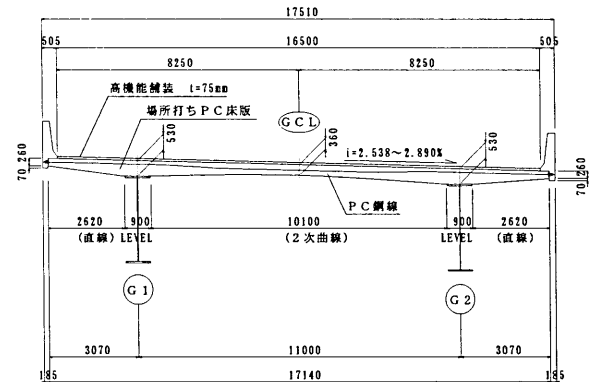


図-3.1.5 床版下面を曲線とした床版形状（葦科川橋）

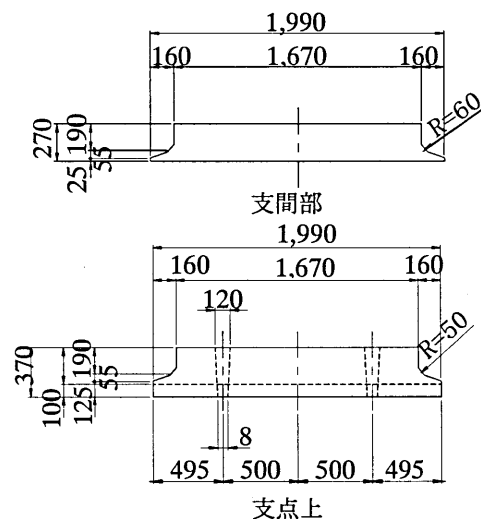


図-3.1.6 矩形断面のプレキャスト床版

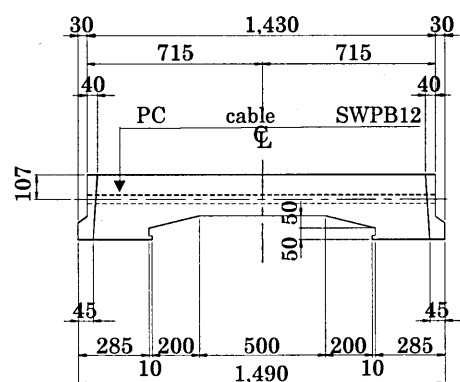


図-3.1.7 リブ付き断面のプレキャスト P C 床版

千曲川橋では、床版支間長が 5.6m と長いリブ付断面のプレキャスト PC 床版が採用されている。また橋軸直角方向にはプレストレス力は導入されておらず、橋軸方向にのみポストテンションによりプレストレス力を導入している。床版厚は 200mm で、リブ高さは最大 300mm とリブ高さが大きい。また継手にはループ継手が用いられている。

この他に、チャンネル型のプレキャスト PC 床版もある。これは鋼合成桁への適用を念頭において開発されたもので、床版厚の薄い部分にはスタッドジベルを配置し、間詰めモルタルを充填する（図-3.1.8）。また、プレキャスト版の継手は小さな目地のみであり、PC 鋼材を用いて橋軸方向に縦締めすることでプレキャスト版の連続性を確保している。非合成桁ではあるが J H 松山自動車道などで実施例がある<sup>3)</sup>。

ちなみに、リブ付き断面のプレキャスト PC 床版の場合も、リブ間にスタッドジベルを配置する方法で鋼合成桁への適用が可能となる<sup>4)</sup>。

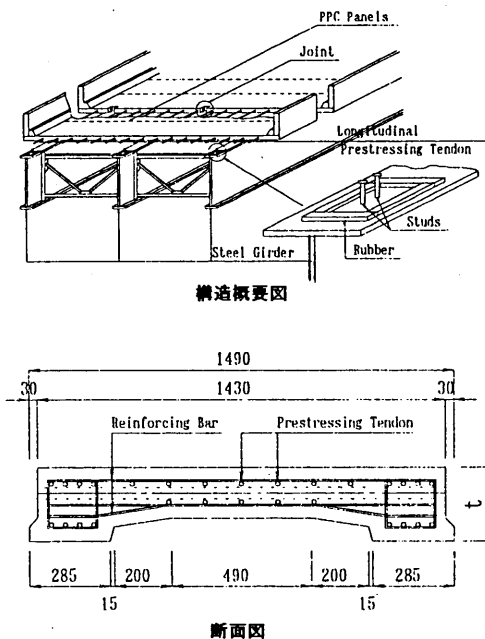


図-3.1.8 チャンネル型プレキャスト PC 床版

ハーフプレキャスト合成床版は、床版の下側をプレキャスト版とし、これを型枠として上側に場所打ちコンクリートを打ち込み一体化する合成床版であり、ハーフプレハブ合成床版とも呼ばれる。プレキャスト床版と場所打ち床版の双方の利点を併せ持つ床版構造として、近年脚光を浴びてきている。

床版の全てをプレキャストとした場合に比べプレキャスト版の重量を軽くすることができ、場所打ち用の型枠も不要であり、また現場における配筋作業を半減することができるといった特徴を有しており、汎用性が高く、山間部の施工においても有利である。プレキャスト版の継手と場所打ちの打ち継ぎ目をずらすことができるため、床版の構造上の弱点が分散され、疲労耐久性も高い。プレストレスの導入も、プレキャスト版に導入するタイプと場所打ち部

に導入するタイプの両方がある。場所打ち部にプレストレスを導入するタイプでは床版を全てプレキャストとした場合における間詰め部のようにプレストレスが導入されない部分ができることもない。

図-3.1.9 に、ハーフプレキャスト合成床版の別の例を示す<sup>5)</sup>。この床版ではプレキャスト版と場所打ち部との一体性を向上させるためにトラス鉄筋が使用されている。

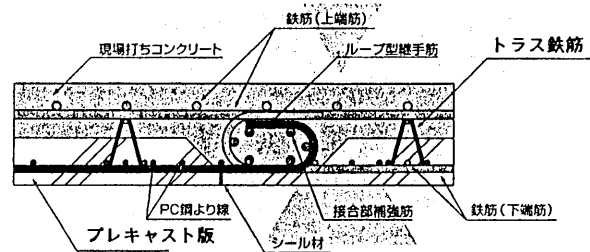


図-3.1.9 ハーフプレキャスト合成床版の例

### 3.1.3 床版の継手構造

プレキャスト床版、ないしはハーフプレキャスト床版においては、工場製品のプレキャストパネルを現場で連結することになる。

橋軸方向にプレストレスを導入する場合では、目地に無収縮モルタルを充填するなどしてパネルを突き合わせる継手が用いられている。目地部の形状は、図-3.1.10 に示すような U 字型が一般的であるが、図-3.1.11 のように上下を絞った菱形断面のものもある。なお、前述の千曲川橋では橋軸方向にプレストレスを導入しているが、継手にはループ継手が用いられている。

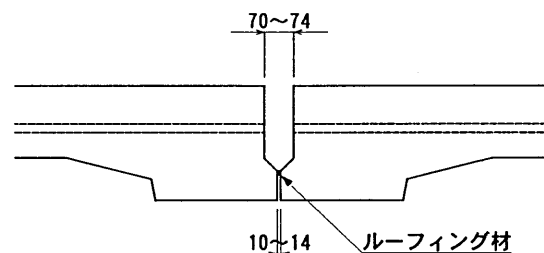


図-3.1.10 プレキャスト床版の目地（その 1）

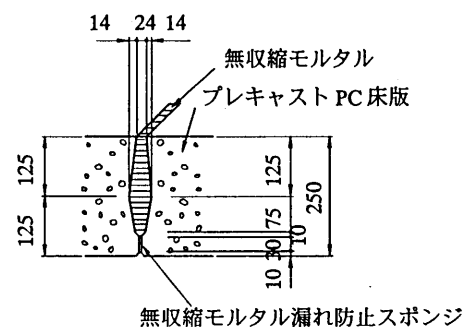


図-3.1.11 プレキャスト床版の目地（その 2）

ループ式継手の改善提案のひとつとして、らせん鉄筋を用いる方法を紹介する<sup>6)</sup>。これはループ内の補強鉄筋をらせん鉄筋に変更したものであり、現場作業の施工性・安全性を大幅に改善できる可能性がある。図-3.1.14に、らせん鉄筋を用いた継手構造の概要図を示す。

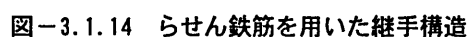
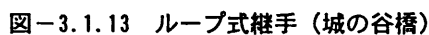
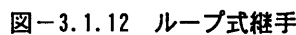


図-3.1.15 マッチキャスト床版



図-3.1.17 ハーフプレキャスト合成床版のループ式継手

### 3.1.4 桁端部

床版支間が長大化する際に注意すべき事項として桁端部の床版が挙げられる。近年は端支点上横桁をコンクリートで巻き立てる事例が多いので、床版をこの巻き立てコンクリートに打ち下ろして一体化させることで桁間部の床版は十分に安全な設計が可能となる。しかし張出しが長い片持ち部では難しい。

ヨーロッパでは、橋梁端部にブラケットを設置し、かつこれを橋台部に覆い隠すという景観まで考えた事例が多々見受けられる。この桁端ブラケットを設けることが解決の早道である。

桁端ブラケットを設けられない場合における対応策として、従来は鋼桁にボルト連結していた伸縮装置（鋼フィンガージョイント）を、床版に箱抜きを設けて後設置とする方法がある。このようにすれば、桁端ぎりぎりまで床版にプレストレスを導入することができるし、伸縮装置の据付も精度よく行える。この方法は葦科川橋で採用されたもので、図-3.1.18にその構造を示す。

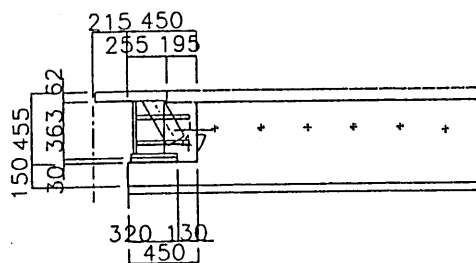


図-3.1.18 伸縮装置を鋼桁に連結しない例（葦科川橋）

## 3.2 プレストレスの導入

### 3.2.1 P C鋼材の配置

床版へのプレストレスは、アンケート調査した橋梁のうち72%が橋軸直角方向のみに導入されていた。これに橋軸直角方向+橋軸方向の両方向に導入したものを合わせると、アンケート調査した橋梁の実に97%が橋軸直角方向にプレストレスを導入している（図-3.2.1）。

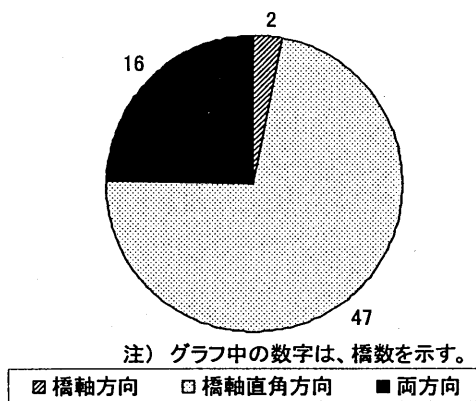


図-3.2.1 プレストレスの導入方向

これは、床版支間の長大化が進むにつれ床版支間方向にプレストレスを導入したP C床版の採用例が多くなってきていることを顕著に表している。

一方、橋軸方向のプレストレス導入は、プレキャスト床版の連続性の確保や、連続合成桁の中間支点部などに発生する負の曲げモーメントに対応するために行われることが多い。

橋軸直角方向のプレストレス導入にはP C鋼材が使用され、プレテンション方式の場合は直線に、ポストテンション方式の場合は曲げモーメントに応じた曲線にP C鋼材を配置する。

ここで注意したいのはポストテンションの場合におけるP C鋼材の曲線配置である。P C鋼材を経済的に用いようとするあまり、P C鋼材の曲げ上げ曲げ下げを多用すると、角折れや摩擦に伴うプレストレスの損失が大きくなり、床版のそり変形も懸念されるようになる。P C鋼材を配置する際の施工性も考慮すれば、場所打ちP C床版であってもP C鋼材の配置はなるべく直線に近づけた方がよい。先に述べた下面を曲線とした床版は、その床版形状を採用した理由のひとつにP C鋼材の配置を直線に近づけられることがあったことを強調しておきたい。

ポストテンションの場合はP C鋼材のピッチにも注意が必要である。床版支間が長くなるとプレストレス導入量が大きくなり、P C鋼材のピッチは狭くなる。しかしピッチが狭すぎるとP C鋼材とP C鋼材の間に橋軸直角方向のひび割れが発生することが懸念されるので、太径のP C鋼材を用いるなどして500～600mmのピッチとなるようにすべきである。300mm以下のピッチは避けた方がよい。

鋼橋における今後の重要課題として連続合成桁への対応が挙げられる。特に連続桁の中間支点部は主桁作用による負の曲げモーメントが発生するため、同部の床版には橋軸方向の引張応力が作用する。このため、ジャッキアップダウンやP C鋼材によって床版に橋軸方向のプレストレスを導入する方法や、床版コンクリート施工時に一時的なカウンターウェイトを載荷する方法などが用いられている。

ただしジャッキアップなどによる橋軸方向プレストレスは、床版コンクリートの乾燥収縮やクリープ、そしてこれを鋼桁が橋軸方向に拘束する影響を受けて、せっかく導入したプレストレスのかかなりの分が消失してしまうことに注意が必要である。J H名古屋で試験的に場所打ちP C床版を採用した飛島高架橋西のように、中間支点部のみにプレキャスト床版を採用したというケースもある。

一方、P C鋼材を使用して橋軸方向にプレストレスを導入したケースでは、プレキャスト床版の連続性を確保することを目的としたものが多い。ただし連続合成桁の負曲げモーメント部に橋軸方向のプレストレスを導入するためにP C鋼材を用いたケースもあり、シース管を用いて床版下面から緊張したり、プレキャスト床版のループ継手部で定着したりする方法がとられている。

### 3.2.2 PC鋼材の種類

床版に用いられるPC鋼材にはPC鋼より線が用いられることが多い。プレキャスト床版の場合は $\phi 15.2\text{mm}$ を200mmピッチ程度で配置しているものが多い。一方、場所打ち床版では、床版支間6m程度で $\phi 21.8\text{mm}$ を500mmピッチ程度に配置した例が多いが、最近は大径の $\phi 28.6\text{mm}$ (1S28.6)を使用しているものも見受けられる。また、場所打ち床版に用いられるPC鋼材は、ほとんどの橋梁においてプレグラウトタイプが用いられている。

### 3.2.3 プレストレス量

PC床版には、そのプレストレス導入量により、いかなる場合にもコンクリートに引張を生じさせないフルプレストレス(PC)と、ある程度の引張を許容するパーシャルプレストレス(PRC)の2種類の考え方がある。最近の事例では、経済性や施工性より、橋軸直角方向はPRCとしている床版がほとんどである。

日本道路公団で用いられているのもPRC床版で、その定義は以下になっている<sup>10)</sup>。

- ・死荷重に対しては、コンクリートに引張を発生させない。
- ・死荷重+活荷重に対しては、コンクリートの許容引張応力度以内とする。
- ・風荷重もしくは衝突荷重に対しては、コンクリートの許容ひび割れ幅以内とする。

また、橋軸直角方向にフルプレストレスの25%のプレストレスを導入した床版でも、平成8年道示で設計されたRC床版に比べて飛躍的に疲労耐久性が向上したという輪荷重走行試験結果に基づく報告<sup>11)</sup>もあり、高価なPC鋼材を多量に使用するPC床版にこだわる必要はない可能性を示唆している。

## 3.3 鋼主桁と床版のずれ止め

### 3.3.1 桁との合成

図-3.3.1にPC床版と鋼桁の結合法則に関するアンケート調査結果を示す。大部分は非合成桁であるが、合成桁が採用された事例も26%あり、近年は合成桁の事例が増えている。

合成桁の場合、そのほとんどに場所打ちPC床版が採用されていた。これは、プレキャストPC床版の場合、床版と鋼桁を連結するずれ止め(一般的にはスタッドジベルが用いられる)用の箱抜きに構造寸法的な制限があって、合成桁に求められるずれ止め本数に対応することが難しいためである。しかし員弁川橋のように高強度のスタッドジベル( $\phi 25\text{-HT60}$ )を使用することによりスタッドジベル本数を減らし、合成桁にプレキャスト床版を採用した例もある(図-3.3.2)。

また、合成桁の場合は中間支点上の負曲げモーメントによるひび割れ防止のため、ジャッキアップダウンやPC鋼線によりプレストレスを導入している例が多い。三尾河高架橋では、鋼桁架設用ベントを床版施工時まで残し、床版打設時の桁変形を拘束することと、①支間部先行打設、②ベント除去、③支点部打設の施工手順をとることにより、支間部を死活荷重合成構造としている。

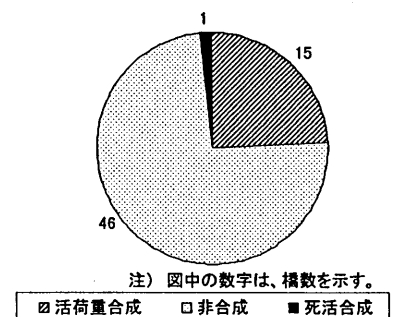


図-3.3.1 鋼主桁と床版の結合法則

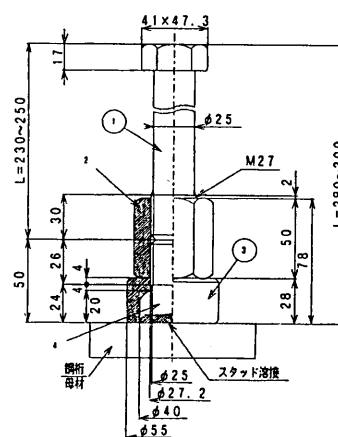


図-3.3.2 高強度スタッドジベル

### 3.3.2 ずれ止め構造

PC床版と鋼桁のずれ止めには、合成桁、非合成桁の区別なくスタッドジベルが採用される例が多い。

場所打ちPC床版の場合は従来の頭付きスタッドジベルが用いられる例が多いが、プレキャストPC床版の場合は図-3.3.3に示すようなネジ式スタッドジベルを使用する例が多い。これは東海大府高架橋で採用された構造で、プレキャスト版を敷設する際に、継手部のループ鉄筋との取り付けからプレキャスト版を橋軸方向に移動させる必要があったために考案された構造である。

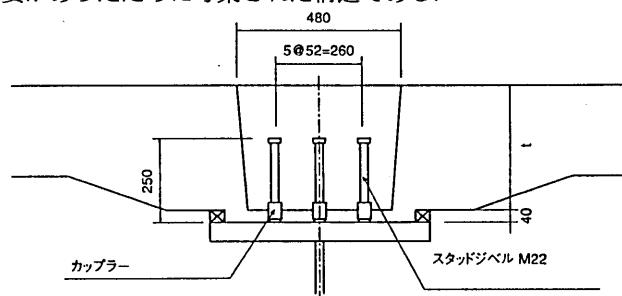


図-3.3.3 ネジ式スタッドジベル(東海大府)

しかし、鋼桁の輸送可能高さへの対応や、例えば移動型  
 枠支保工用のレール架台といった仮設材の固定にネジ部  
 が有効に使えるといった理由も加わり、場所打ちPC床版  
 でもネジ式スタッドジベルが使われるようになった。ただ  
 し、溶植するスタッド根元までネジがあると疲労耐久性が  
 落ちるので、ネジ切り加工は溶植部の上方までとするのが  
 好ましい。また連続合成桁でスタッドジベルのピッチが狭  
 くなり、かつ長いスタッドジベルを使用するケースでは、  
 橋軸直角方向の鉄筋とスタッドジベルとの取り合いにも  
 注意する必要がある。図-3.3.4に、場所打ちPC床版の  
 蕨科川橋に採用されたネジ式スタッドジベルを示す。

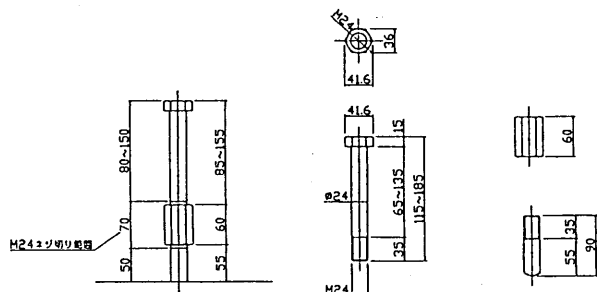


図-3.3.4 ネジ式スタッドジベル (蕨科川橋)

### 3.3.3 ずれ止めの配置

場所打ちPC床版の場合、横桁位置の垂直補剛材近傍の  
 床版下面に橋軸直角方向のひび割れが発生することがあ  
 る(図-3.3.5)。

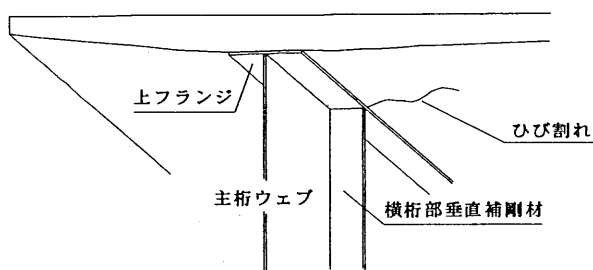


図-3.3.5 横桁付近の床版下面のひび割れ

これは、偏心配置したPC鋼材に橋軸直角方向のプレ  
 ストレスを導入した際に床版が上反りして主桁上フランジ  
 から剥がれようとする挙動を示すのに対し、主桁の上フラ  
 ンジがこれに回転追随できればよいが、横桁で固定された  
 垂直補剛材は上フランジの首振りを拘束するので、あたか  
 もスタッドジベルが床版を下方に引っ張るような形にな  
 ってしまい、プレストレスが効いていない床版の橋軸方向  
 の引張応力が卓越し、橋軸直角方向にひび割れが発生す  
 るものと推測されている。同様なことは張出し床版が長くコ  
 ンクリート製壁高欄などの重量物がその先端に設置され  
 るような場合にも懸念される。

このようなひび割れの発生を防止する対策はまだ確立  
 されていないが、スタッドジベルをなるべく鋼桁上フラン

ジの端部に寄せて配置することや、垂直補剛材の直上にス  
 タッドジベルを配置しないようにするのもひとつの方法  
 である。また床版にハンチがある場合はハンチの部分に局  
 所的に応力が集中する傾向もあるので注意が必要であり、  
 横桁近辺のスタッドジベルをやや密に配置するとか、上フ  
 ランジにあらかじめ水膨張ゴム弾性シーラ材を施工した  
 事例がある。

## 3.4 材料

### 3.4.1 コンクリート

#### (1) アンケート調査結果

プレキャスト床版のコンクリートには全て早強セメン  
 トが用いられており、設計基準強度は50N/mm<sup>2</sup>としている  
 ものが大多数であった(図-3.4.1、図-3.4.2)。

これは工場製作となるプレキャスト版の場合、現場施工  
 に比べコンクリートの品質管理が容易となるため、より高  
 強度のコンクリートの使用が可能となるためと考えられ  
 る。

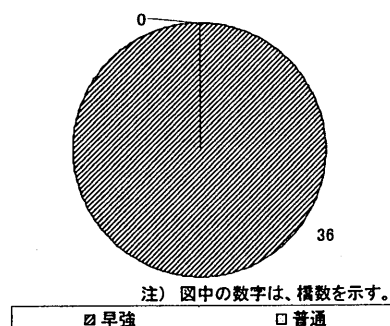


図-3.4.1 プレキャストPC床版のセメント種類

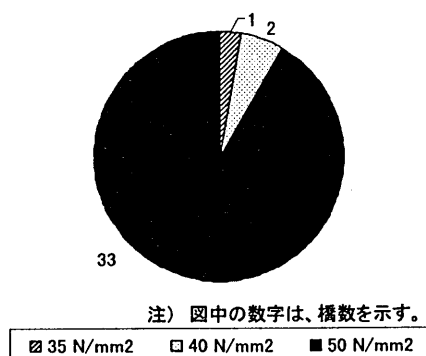


図-3.4.2 プレキャスト部のコンクリート強度

プレキャスト床版の間詰め部に使用するコンクリート  
 は、図-3.4.3に示すように早強セメントが20橋と最も多  
 く、次いで無収縮5橋、早強膨張コンクリート4橋、普通  
 膨張コンクリート1橋、超早硬コンクリート1橋となっ  
 ている。

このうち、無収縮と超早硬コンクリートを使用してい  
 るのは橋軸方向にプレストレスを導入している橋梁のも  
 のである。

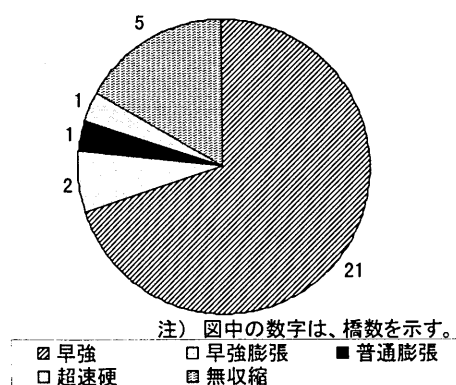


図-3.4.3 間詰め部のコンクリート種類

間詰め部のコンクリートの設計基準強度は、図-3.4.4に示すように50N/mm<sup>2</sup>としているものが20橋で最も多く、35 または 40N/mm<sup>2</sup>としているものもあった。

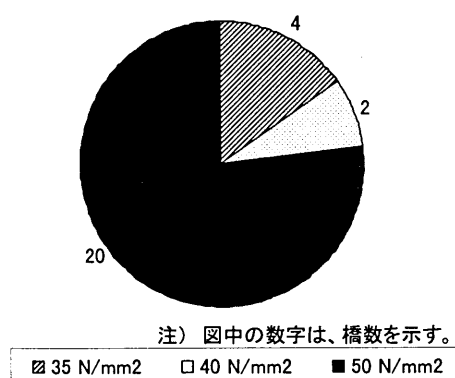


図-3.4.4 間詰め部のコンクリート強度

場所打ち床版では、図-3.4.5に示すように早強コンクリートが16橋、早強膨張コンクリートが10橋であり、ほとんどのケースで早強コンクリートが用いられていた。

コンクリートの設計基準強度は、40N/mm<sup>2</sup>としたものが23橋と最も多かった。やはり現場施工を意識したのであろうか、プレキャスト床版と比べるとコンクリート強度は低くなっている(図-3.4.6)。

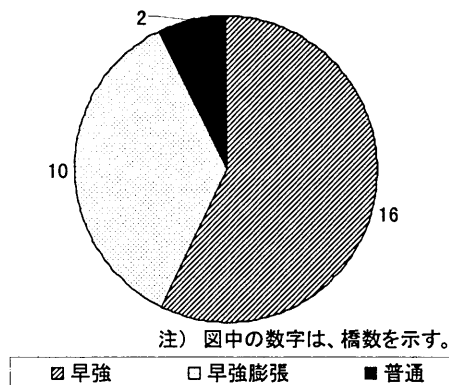


図-3.4.5 場所打ちPC床版のセメント種類

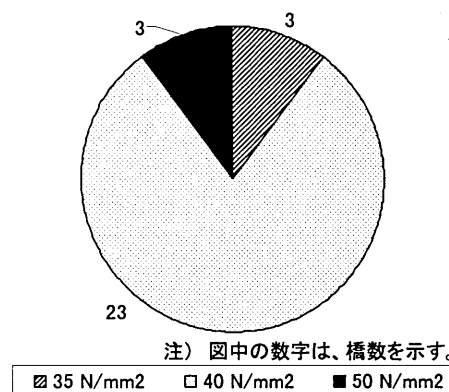


図-3.4.6 場所打ちPC床版のコンクリート強度

## (2) 人工軽量骨材

プレテンション工法やポストテンション工法によるPC床版に採用されるコンクリートについては、高性能人工軽量骨材を用いた軽量コンクリートの開発によって上部工軽量化の促進が可能になりつつある。

現在開発されている軽量コンクリートに用いられる人工軽量骨材の種類と性状を表-3.4.1に示す。

人工軽量骨材を用いたコンクリートの力学的特性に関する研究も進められ実用化の域に達しつつある。ただし、人工軽量骨材の種類と物性は種々異なっており、価格の相違もあることから、軽量コンクリートを採用するにはそれぞれの人工軽量骨材の諸特性を十分把握した上で採用されるのが望ましい。

表-3.4.1 人工軽量骨材の種類と性状

| 分類      | 原料   | 種類   | 形状   | 絶乾比重<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 24時間吸水率<br>(%) | 実績率<br>(%) |
|---------|------|------|------|------------------------------|----------------|------------|
| 従来型     | 膨張頁岩 | 非造粒型 | 川砂利型 | 1.2~1.3                      | 8~10           | 62~64      |
|         |      |      | まゆ型  | 1.24~1.34                    | 7~10           | 60~65      |
| 高性能型    | 真珠岩  | 造粒型  | 球形   | 0.85±0.1                     | 5以下            | 60以上       |
|         |      |      |      | 1.20±0.1                     | 3以下            |            |
|         | 膨張頁岩 |      | まゆ型  | 0.9±0.05                     | 10~12          |            |
| 産業副産物利用 | 石炭灰  |      | 球形   | 1.81 (※)                     | 2.23 (※)       | 63.0 (※)   |
|         |      |      |      | 1.30~1.38                    | 14~18          | 61~63      |

(※) ; 測定値

### (3) 繊維（ファイバー）

一般に、繊維コンクリートを用いた場合の部材への強度効果は主に次の2点に要約される。

- ・ 繊維補強コンクリートは初期ひび割れ発生後も荷重を保持することが可能なので、コンクリートの引張領域においても強度を期待することができる。
- ・ 鉄筋と繊維が同時に用いられる場合、繊維は鉄筋とコンクリート間の付着切れを拘束することによって鉄筋のまわりにひび割れが広がるのを拘束する。

さらにコンクリートに繊維（ファイバー）を混入させることは、コンクリートの部分剥落の防止や、ひび割れの防止、あるいは分散にも効果がある。

コンクリートに混入される代表的な繊維（ファイバー）には次のようなものがある。

- ・ 鋼繊維（スチールファイバー）
- ・ 炭素繊維
- ・ ガラス繊維
- ・ アラミド繊維
- ・ ビニロン繊維
- ・ ポリオレフィン系繊維

（ポリエチレン、ポリプロピレン）

このうち、繊維の混入に伴う床版コンクリートの曲げ強度の増加が期待できるのは、鋼繊維（スチールファイバー）、炭素繊維、ガラス繊維、アラミド繊維であるが、これらはどれも高価である。

鋼繊維（スチールファイバー）は、コンクリートの引張靱性を大きく向上させる特性があるが、鋼繊維がコンクリート表面に露出するとこれが腐食して発錆の原因となるという問題がある。ガラス繊維はコンクリートのアルカリに対し劣化するという欠点があり、低収縮低アルカリ性セメントの使用による乾燥収縮対策が必要となる。アラミド

繊維は耐候性に劣る。

よって、鋼繊維、ガラス繊維、およびアラミド繊維を除いた繊維について、表-3.4.2に主な特徴を示す。

PC床版へは、主にコンクリートの乾燥収縮等による初期ひび割れの発生を防止する目的で繊維（ファイバー）を混入することが多い。例えばプレキャストPC床版のループ継手部の現場打ちコンクリートや、壁高欄の場所打ちコンクリートなどである。

また、我が国ではまだ実験段階であるが、カナダでは鉄筋を使用せずにポリプロピレン繊維を現場でコンクリートミキサー車に投入したコンクリートを使用した床版の施工例がある。ポリプロピレン繊維は曲げ強度の増加は期待できないものの、安価で、耐久性、耐アルカリ性、耐加水分解性に優れ、分散性もよいという特徴がある。現在注目されている繊維のひとつである。

繊維材をコンクリートに混入する場合には、繊維材の吸水性の問題等、各繊維材の特性を十分に把握してコンクリートの配合を決定するとともに、コンクリート部材の要求性能に合致する繊維を選択する必要がある。

炭素繊維を用いる場合には、コンクリート中の鋼材と炭素繊維が接触すると異種材料の電食によって鋼材が発錆する恐れがあるため、鋼材にエポキシ樹脂塗装を施すか、あるいはセメントペーストを塗布するといった、鋼材と炭素繊維の直接接触を防止する必要がある。またオムニミキサーのような特殊な混練が必要である。

### (4) 膨張材

繊維と同様に、乾燥収縮等によるコンクリートの初期ひび割れを防止するために、コンクリートに膨張材を混入する場合もある。プレキャストPC床版におけるループ継手部の間詰めコンクリートや、場所打ちPC床版において打

表-3.4.2 繊維（ファイバー）の種類と特徴

| 項 目  | 炭素繊維                                                                                                                                                                            | ビニロン繊維                                                                                                                                                                                      | ポリオレフィン系繊維                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                     |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      |                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                             | A社                                                                                                                                                                     | B社                                                                                                                                                                  |
| 材 質  | 炭素(ピッチ系炭素質)                                                                                                                                                                     | ビニロン                                                                                                                                                                                        | ポリプロピレン                                                                                                                                                                | ポリプロピレン                                                                                                                                                             |
| 特 性  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 補強性</li> <li>・ 摩擦磨耗特性</li> <li>・ 耐熱性</li> <li>・ 耐食性</li> <li>・ 高い引張強度</li> <li>・ 耐衝撃性向上</li> <li>・ 耐疲労性向上</li> <li>・ 曲げ靱性向上</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ コンクリート中での混練性、分散性の向上</li> <li>・ セメントマトリックスとの高い接着性</li> <li>・ 耐7%アルカリ性</li> <li>・ 耐久性</li> <li>・ 耐候性</li> <li>・ 高い引張強度</li> <li>・ 高い引張弾性率</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 耐クラック性向上（収縮クラックの制御）</li> <li>・ 落コン防止性能向上</li> <li>・ 耐衝撃性向上</li> <li>・ 耐疲労性向上</li> <li>・ 曲げ靱性向上</li> <li>・ 耐7%アルカリ性</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 同 左</li> <li>・ 表面形状が特殊なエンボス加工により凹凸状となっているので、破断時の繊維の抜けが起りにくく、曲げタフネスが大幅にアップ。</li> <li>・ ポリウエーブは波形をしているので効果は更にアップ。</li> </ul> |
| 色    | 黒色                                                                                                                                                                              | 薄黄色                                                                                                                                                                                         | 黄白色                                                                                                                                                                    | グレー                                                                                                                                                                 |
| 長さ   |                                                                                                                                                                                 | 30, 24, 12mm                                                                                                                                                                                | 54mm(コンクリート補強用)                                                                                                                                                        | 30mm                                                                                                                                                                |
| 比重   |                                                                                                                                                                                 | 1.3 g/cm <sup>3</sup>                                                                                                                                                                       | 0.9 g/cm <sup>3</sup>                                                                                                                                                  | 0.91 g/cm <sup>3</sup>                                                                                                                                              |
| 引張強度 | 78 kg/mm <sup>2</sup>                                                                                                                                                           | 90 kg/mm <sup>2</sup>                                                                                                                                                                       | 60 kg/mm <sup>2</sup>                                                                                                                                                  | 45 kg/mm <sup>2</sup>                                                                                                                                               |
| ヤング率 | 3800 kg/mm <sup>2</sup>                                                                                                                                                         | 3000 kg/mm <sup>2</sup>                                                                                                                                                                     | 2000 kg/mm <sup>2</sup>                                                                                                                                                | 1000 kg/mm <sup>2</sup>                                                                                                                                             |
| 施工性  | ミキサー車に直接投入、攪拌                                                                                                                                                                   | ミキサー車に直接投入、攪拌<br>分散性はポリプロピレンより劣る                                                                                                                                                            | ミキサー車に直接投入、攪拌                                                                                                                                                          | ミキサー車に直接投入、攪拌                                                                                                                                                       |
| 備 考  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 応力部材としての混入率=1.8~4.5容量%</li> <li>・ コンクリートの引張応力度を50kgf/cm<sup>2</sup>期待する場合は2容量%</li> </ul>                                              | コンクリート構造物の応力部材への適用=RF4000×30（繊維長：30mm）                                                                                                                                                      | 1kg/m <sup>3</sup> 程度の混入<br>混入率=0.1~0.2容量%                                                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 土間コンクリートの場合の混入率=0.5容量%</li> <li>・ トンネルの応力挙動に対する混入率=1.0容量%</li> </ul>                                                       |

ち残しとなる中間支点部のコンクリート、あるいは場所打ちの壁高欄に使用した事例があるし、また場所打ちPC床版の全てのコンクリートに膨張材を入れた事例もある。膨張材の混入量は、収縮保証的に概ね  $30 \text{ kg/m}^3$  程度のケースが多いようである。

膨張材の基本的な使用目的は、コンクリートを膨張させることによって間接的にケミカルプレストレスを導入しようとするものである。例えばプレキャストPC床版のループ継手部の場合は、ループ継手前後のプレキャスト床版の拘束によってループ継手に場所打ちしたコンクリートにケミカルプレストレスを与え、コンクリートの乾燥収縮等による初期ひび割れを防止するとともに、構造部材として曲げ引張靱性の向上を期待しているのである。

また、前述した繊維を併用することにより、さらなる曲げ引張靱性向上も期待できる。

しかしながら、コンクリートに膨張材を混入する場合においても、その膨張性能を十分に把握する必要があり、コンクリート部材の要求性能を満足するような使用性を検討する必要がある。

### 3.4.2 PC鋼材

プレストレスを導入するために用いるPC鋼材は、そのPC床版がプレキャストか場所打ちかによって使い分けられる。ここでは各々の場合において用いられるPC鋼材の種類と特徴について述べる。ただしここで紹介するPC鋼材は、床版支間方向（橋軸直角方向）にプレストレスを導入するものに絞ることとする。

#### (1) 場所打ちPC床版

場所打ちPC床版における床版支間方向のプレストレス導入方法としては、一般的にポストテンション工法が採用される。ポストテンション工法とは、コンクリート打設前にあらかじめシースの中にPC鋼材を配置しておき、コンクリート打設後コンクリートが所定の強度に達した後でPC鋼材を緊張してプレストレスを与える方式である。

ポストテンション工法に用いられるPC鋼材にはPC鋼棒やPC鋼より線などがあり、JIS G 3536 に適合するものを使用する。JIS G 3536 に示されていないPC鋼材以外の緊張材を使用する場合には、試験によってその品質を確

かめ、強度などの設計に用いる材料数値を定めなければならない。

場所打ちPC床版にポストテンションでプレストレスを導入する場合、これまではコンクリート打設前にあらかじめシースの中にPC鋼材を配置しておき、コンクリート打設後コンクリートが所定の強度に達してからPC鋼材を緊張し、その後でPC鋼材の防錆とコンクリートとの一体化を図るためにグラウトを注入する方法が用いられていた。

しかし最近、グラウトの施工不良に起因する問題が指摘されるようになり、あらかじめグラウトを施したプレグラウトタイプのPC鋼材の使用例が増えてきている。

これはポリエチレン製のシースの中にエポキシ系の樹脂を充填したものである。この樹脂は常温硬化型で、樹脂がまだ固まらない状態ではグリースと同等の粘度を有しており、PC鋼材の緊張には支障をきたさない。PC鋼材緊張後も樹脂が硬化するまでの間は防錆剤としての性能を有しており、樹脂が硬化した後は防錆性能およびコンクリートとの付着性能を発揮する。

この樹脂は温度の累積によって硬化するが、硬化促進剤の添加量をコントロールすることにより硬化時期を比較的自由に設定できるのも特徴である。

なお、プレキャストPC床版のようにプレテンション工法を用いる場合であっても、PC鋼材の配置スペースや緊張力の関係でプレグラウトタイプのPC鋼材が併用される場合がある。

表-3.4.3 に、プレグラウトタイプのPC鋼材の種類と機械的性質を示す。なお、表にはないが太径の 1S28.6 も近々JIS化される予定である。

プレグラウトタイプのPC鋼材を使用する場合には、床版支間やPC床版の形状を十分把握して、PC床版の要求性能に合致したPC鋼材を選定する必要がある。

また、プレグラウト樹脂の硬化時期にも注意が必要である。樹脂の硬化は工場出荷時より始まっており、現場で保管している間に樹脂が固まってしまうこともあり得る。逆に橋梁の供用開始までに硬化が終了していないのも問題となる。早すぎず、かつ遅すぎないように、樹脂の硬化時間は慎重に設定をし、工場出荷時からの経過日数管理を行っておくとい。

表-3.4.3 プレグラウトPC鋼材の種類と機械的性質

| JIS G 3536 |                             |              |              |           |                  |
|------------|-----------------------------|--------------|--------------|-----------|------------------|
| 呼び名        | 公称断面積<br>(mm <sup>2</sup> ) | 降伏荷重<br>(kN) | 引張荷重<br>(kN) | 伸び<br>(%) | リラクセーション値<br>(%) |
| 1S17.8     | 208.40                      | 330 以上       | 387 以上       | 3.5 以上    | 2.5 以下           |
| 1S19.3     | 243.70                      | 387 以上       | 451 以上       |           |                  |
| 1S21.8     | 312.90                      | 495 以上       | 573 以上       |           |                  |
| 1S28.6     | 532.40                      | 807 以上       | 949 以上       |           |                  |

\* 降伏荷重は、0.2%永久伸びを生ずる荷重とする。

\* リラクセーション値は、規格引張荷重の70%を初期荷重として、1000時間後の荷重低下率を示す。値は低リラクセーション品を示す。

## (2) プレキャストPC床版

プレキャストPC床版における床版支間方向のプレストレス導入方法としては、一般的にプレテンション工法が採用される。プレテンション工法とは、緊張用アバットに配置されたPC鋼材を先に緊張しておき、コンクリート打設後、緊張力を緩め、コンクリートとPC鋼材の摩擦によってプレストレスを導入する方式である。

プレテンション工法のPC鋼材には鋼より線を用いるのが一般的で、JIS G 3536に適合するものを使用する。JIS G 3536に示されていないPC鋼材以外の緊張材を使用する場合には、試験によってその品質を確かめ、強度などの設計に用いる材料数値を定めなければならない。

ところで、近年は橋軸直角方向の床版支間が長大化する傾向にあり、当然のことながらプレストレス導入量も増大化する傾向にある。床版に大きなプレストレスを導入するためには、1本あたりのプレストレス導入可能量を大きくとれるPC鋼材を用いて施工する方が効率がよい。しかし例えば図-3.4.7に示すような比較的容量の大きなPC鋼より線をプレテンション鋼材として用いる場合、PC鋼より線を構成する素線のうち中心部の素線（心線）が引き込まれることによるプレストレスの低下が生じる。

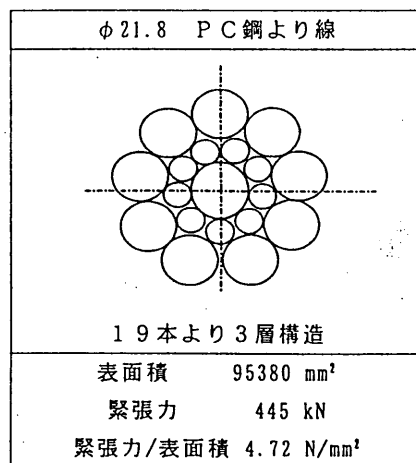
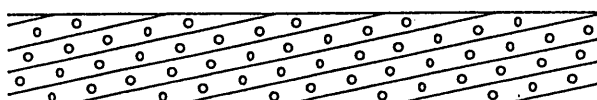


図-3.4.7 19本よりφ21.8mmのPC鋼材

このプレストレスの低下を極力小さくする方法として図-3.4.8に示すようなインデント加工されたPC鋼材が開発されている。



|     | ピッチ(mm)  | 深さ(mm)     |
|-----|----------|------------|
| 外層線 | 7.0 ±0.5 | 0.18 ±0.05 |
| 内層線 | 5.0 ±0.5 | 0.12 ±0.05 |

図-3.4.8 インデント加工されたPC鋼材

## 参考文献

- 1) ドイツ連邦運輸省：道路建設に関する回覧（ARS），1994.12.15
- 2) 猪熊，本間，杉崎，丸山：長支間場所打ちPC床版鋼2主桁橋（藁科川橋）の計画，第54回年次学術講演会講演概要集，共通セッション，1999.9
- 3) 堤，松井，日野，太田，山口，木下：チャンネル型プレキャストPC床版の鋼合成桁橋への適用に関する研究：第1回鋼橋床版シンポジウム講演論文集，1998.11
- 4) 長山・市川・川畑・猪村：長支間リブ付きプレキャストPC床版の耐荷特性に関する実験的研究，第1回鋼橋床版シンポジウム講演論文集，1998.11
- 5) 飛島建設(株)，日本カイザー(株)：BARD床版工法カタログ
- 6) 松井，竹中，安福，長谷川：らせん鉄筋を有するPCa床版継手部の性能について（静的試験），第54回年次学術講演会講演概要集，共通セッション，1999.9
- 7) 若下・杉崎・成瀬：リブ付床版の基礎的研究，第1回鋼橋床版シンポジウム講演論文集，1998.11
- 8) 八部・山本・大垣・済藤・星埜・堀川：少数主桁用リブ付きプレキャストPC床版の実験的研究，第1回鋼橋床版シンポジウム講演論文集，1998.11
- 9) 村田・中島：トラス鉄筋付PCF版合成床版（ハーフPC床版）の一体性確認試験，第54回年次学術講演会講演概要集，共通セッション，1999.9
- 10) 例えば，日本道路公団静岡建設局構造技術課：橋梁設計の参考資料（案），1996.10
- 11) 建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室，(社)日本橋梁建設協会：省力化に対応した鋼桁橋の設計施工に関する共同研究報告書（Ⅱ），パーシャルプレストレスを導入したPC床版の輪荷重走行試験，1998.12