

三郷東高架橋(場所打ちP C床版、上下部剛構造)の床版実験

中原智法* 道田和樹**

キーワード：場所打ちPC床版、2主鈑桁橋、上下部剛結構造、プレストレスロス、ひび割れ対策

1. まえがき

東京外環自動車道は、首都圏15kmに計画されている環状道路である。現在、関越自動車道の大泉JCTから、首都高速道路の美女木JCTと東北自動車道の川口JCTを経由して、常磐自動車道の三郷JCTまでの約30kmが供用されている（図-1）。

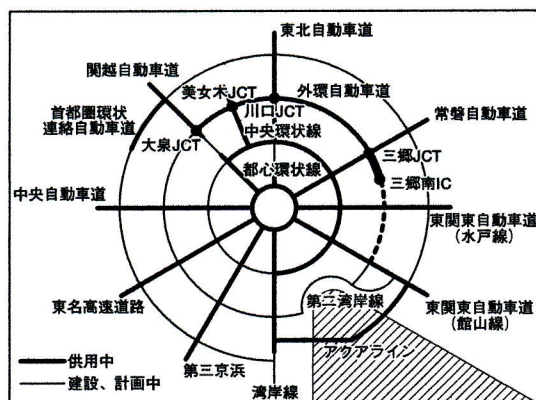


图-1 位置图

延伸部にあたる三郷JCT～三郷南IC間の約5kmは、一般国道298号と併設した連続高架橋区間であり、上下部一体構造の複合ラーメン橋として建設が進められている。標準的な上部構造は、主桁間隔6mの連続2主鈑桁橋であるが、上下線の主桁を鋼横梁で結び、RC脚柱と剛結する構造となっている。床版は架設的な制約から現場打ちPC床版が採用された。

一般的に、場所打ちPC床版を採用した場合、PC鋼材緊張方向に剛性の高い部材があると、床版へのプレストレス導入量が低下することが考えられる(図-2)。これまでにも、支点上横桁巻き立て部や、開断面箱桁のダイヤフラム周辺部には、鋼桁の拘束によるプレストレス低下が懸念され、プレストレス導入効率が検討されている事例がある。しかしながら、上部工の荷重全てを支持するような非常に剛性の高い横梁構造の採用実績はなく、今回の場所打ちPC床版の採用にあたっては、従来の構造に比べて、横梁周辺床版のプレストレス導入効率が大幅に低下し、有害なひび割れが発生することが懸念された。

詳細設計に先立って行ったFEM解析では、プレストレスのロスはあるものの、場所打ちPC床版としての設計は可能であるという結論が得られたが、通常のPC構造物で想定している緊張直後のプレストレスの減少以上にプレストレスが低下することも確認された。また、

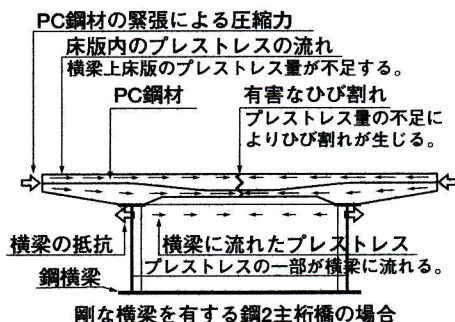
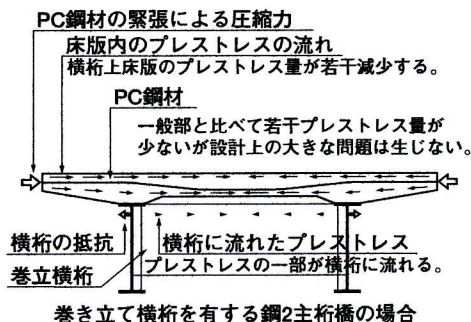
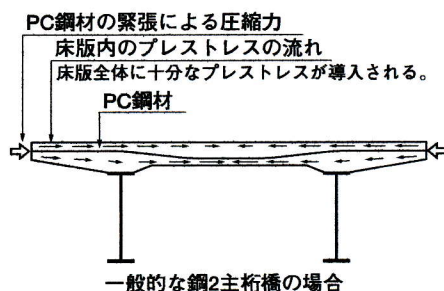


図-2 剛な横梁を有する現場打ちPC床版の問題点

*生産施工本部技術部技術第一課係長

**生産施工本部技術部技術第二課



プレストレス低下の一因と考えられるクリープや乾燥収縮は、FEM解析で厳密な検討を行うことが困難であり、加えて、前例がない構造条件などの不確定要因に対する確認として、模型実験を行いFEM解析結果の検証を行うことにした。

2. 実験概要

横梁付近の構造を図-4に示す。基本設計断面による事前検討FEM解析で、床版プレストレスの導入に対して鋼横梁による拘束の影響を受ける範囲は、横梁上と横梁腹板から主桁間隔程度までであることが確認されていた。そのため、実験模型の橋軸方向長さは、横梁幅+主桁間隔の1.5倍とした。橋軸直角方向は、上下線が分離された構造であることから、剛結部を含まない片側2主桁とした。また、実橋は横梁により片持ち状態で支持されているが、実験模型では設備などの関係からゴム支承を使用して多点支持した。実験模型の基本的な縮尺は、経済性、材料の制約、施工誤差の許容値を考慮して実橋の2/3とした。なお、プレストレス導入量はコンクリートの圧縮応力度を合わせるよう設定し、鋼横梁の断面積や剛性は相似則に従って設定した。

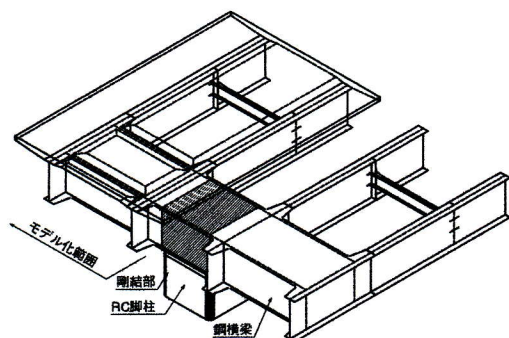


図-4 横梁付近の構造

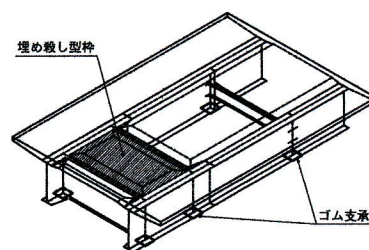
模型実験では確認することの困難な床版応力度や活荷重などの影響は、三次元FEM解析にて確認することとした。また、実橋の設計にあたっては、三次元FEM解析によりスケールアップする計画であったため、実験模型を再現した三次元FEM解析を行い、模型実験との整合性を検証した。FEM解析モデルは、床版をソリッド要素、鋼桁をシェル要素、PC鋼材や鉄筋はケーブル要素としてモデル化を行い、PC鋼材緊張に相当する荷重は温度荷重によりプレストレスを作用させた。このプレストレス量は、部材の弾性変形を考慮した有効プレストレスを与えてある。スタッドジベルはモデル化せずに床版と鋼桁の節点を共有する条件とした。FEM解析において非常に問題となるのがクリープ・乾燥収縮のパラメータであるが、本実験では最終収縮量を 200μ と仮定して、道路橋示方書により等価な静弾性

係数を設定することにより考慮した。なお、水和反応熱による影響は考慮していない。

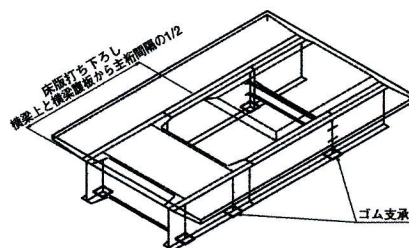
実験を行った模型は、図-5に示す埋め殺し型枠タイプと打ち下ろしタイプの2種類である。埋め殺し型枠タイプは、基本設計をベースとした構造であり、横梁腹板上のみにハンチを設けた構造で、横梁上は埋め殺し型枠を使用している。打ち下ろしタイプは、詳細設計における改良構造であり、横梁上とその近傍を打ち下ろした構造としている。

表-1 実橋と実験模型の形状

	実 橋	実験模型
主桁間隔	6.00m	4.00m
床版張出長	2.45m	1.60m
床版厚	320mm	220mm
ハンチ高	100mm	70mm
純かぶり	40mm	30mm
コンクリート	$\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$	$\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$
PC鋼材種類	1s21.8 (プレグラウト)	1s17.8 (プレグラウト)
PC鋼材間隔	ctc 500	ctc 500
主鉄筋	D13 ctc 125	D10 ctc 125
配力鉄筋	D19 ctc 125	D16 ctc 125
桁高	2.50m	2.10m
フランジ幅	700mm	450mm
横梁幅	3.50m	2.00m
横梁断面積	0.7596m^4	0.1717m^4
横梁剛性	0.5862m^2	0.1983m^2



1) 埋め殺し型枠タイプ



2) 打ち下ろしタイプ

図-5 実験模型の構造

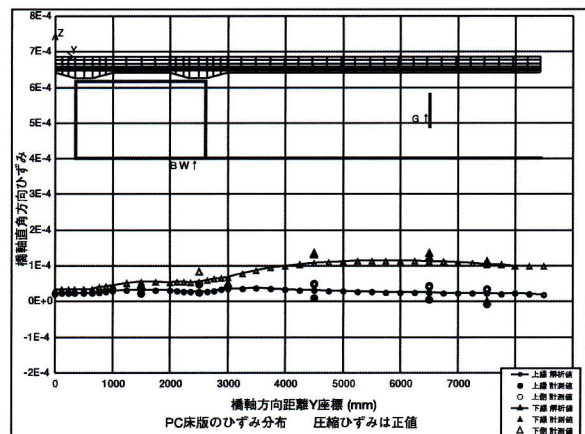
3. 実験結果

埋め殺しタイプの実験結果、対策の検討、打ち下ろしタイプの実験結果の順で説明する。

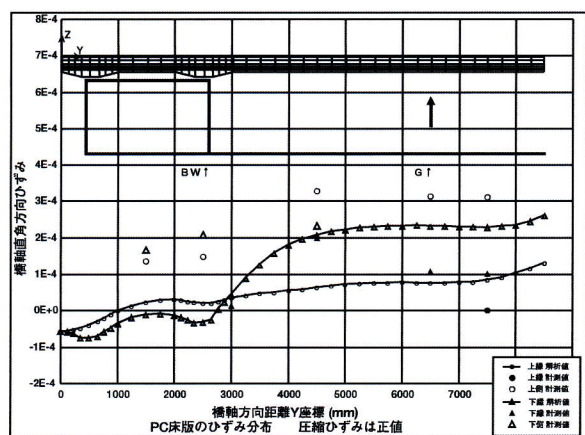
3.1 埋め殺し型枠タイプの実験結果

緊張直後のプレストレス量は、図-6でわかるように横梁の拘束により約3割のプレストレスが横梁に流れ、床版には軸力換算で約7割のプレストレスが導入される計測結果となった。FEM解析の結果と比較すると、横梁上、一般部とも、概ねよい一致を示した。

クリープ・乾燥収縮が進行した緊張後約3ヶ月では、クリープによる変形にともない、床版下縁の圧縮ひずみが大きくなっている。これは、FEM解析の結果と一致する。横梁部分は、クリープ・乾燥収縮による影響が大きく、FEM解析の結果では引張ひずみが発生している。なお、後述する橋軸方向ひび割れの発生により、計測値とFEM解析値の傾向は一致しない結果となった。



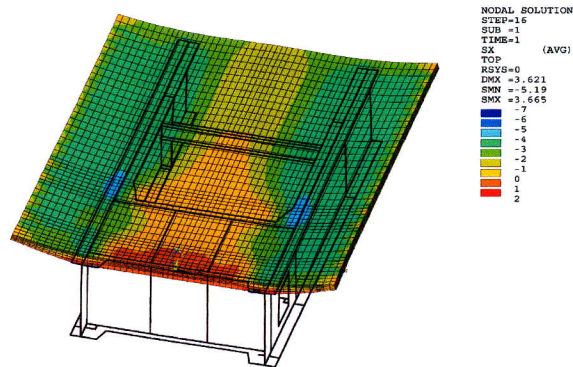
緊張直後



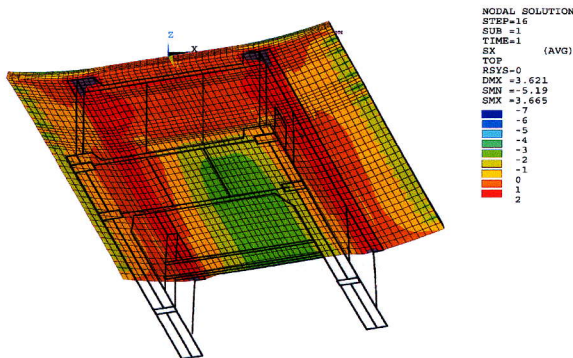
クリープ・乾燥収縮後（緊張後約3ヶ月）

図-6 計測値とFEM解析値の比較（埋め殺し型枠タイプ）

PC鋼材緊張後2ヶ月程度を経過した時期に、乾燥収縮が原因と考えられる無数の橋軸直角方向ひび割れに加えて、横梁上の床版には、緊張方向である橋軸方向に図-8に示すように幅0.16mm程度のひび割れが発生した。このひび割れは、設計上、有害であると判断された。



床版上面橋軸直角方向応力度分布



床版下面橋軸直角方向応力度分布

図-7 FEM解析結果（クリープ・乾燥収縮後）

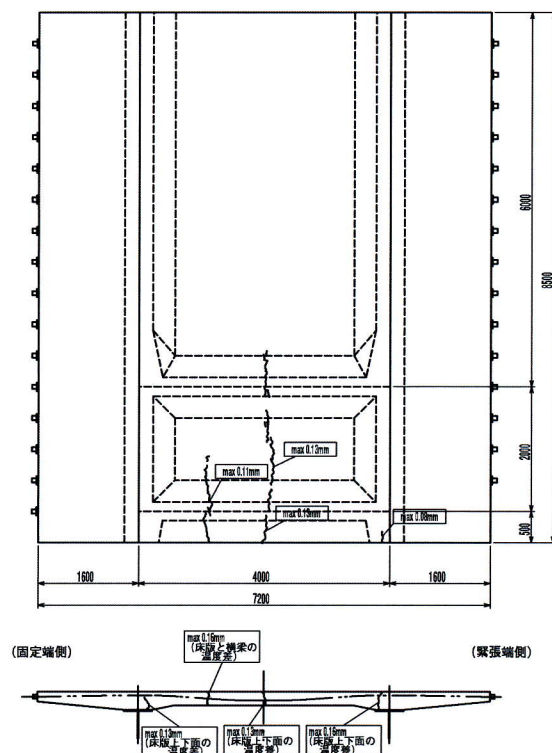


図-8 実験模型に発生したひび割れ

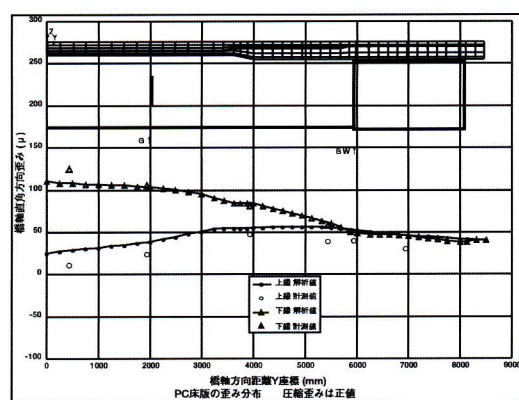
3.2 対策の検討

埋め殺し型枠タイプの実験では、横梁上に橋軸方向の有害なひび割れが発生した。FEM解析の結果では、横梁上の床版はクリープ・乾燥収縮の影響が大きく、図-7のようにコンクリートに $1\text{N}/\text{mm}^2$ 程度の引張応力度が生じている。コンクリートの引張許容応力度は $2\text{N}/\text{mm}^2$ 程度であると考えられるため、FEM解析の結果からだけではひび割れは生じないが、FEM解析で考慮していない荷重（例えば温度変化など）が作用した場合、さらに引張応力度が増加してひび割れが生じることが考えられた。

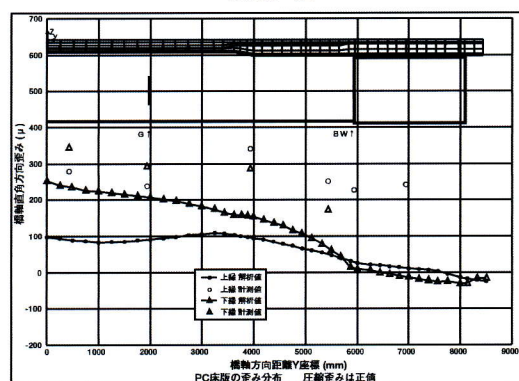
計測された床版や鋼桁温度を再現したFEM解析を行った結果、床版上下面の温度差の影響が大きいことが判明した。また、PC鋼材の偏心配置もひび割れを助長することが考えられたため、表-2に挙げる対策を講じることとした。

3.3 打ち下ろしタイプの実験結果

横梁部分は一般部に対して約3割増しのPC鋼材を配置したため、緊張直後のプレストレス量は、図-9のように横梁上の床版にも一般部と同程度のプレストレスが導入される計測結果となった。また、PC鋼材を直線配置としたことにより、曲げ変形は発生せず、緊張後約3ヶ月の計測結果も、FEM解析値と良好な一致が確認された。



緊張直後



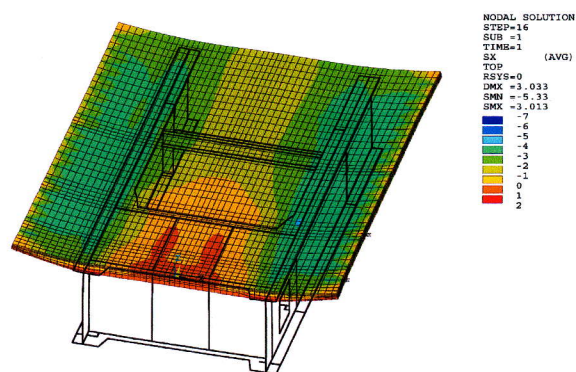
クリープ乾燥収縮後（約3ヶ月）

図-9 計測値とFEM解析値の比較（打ち下ろしタイプ）

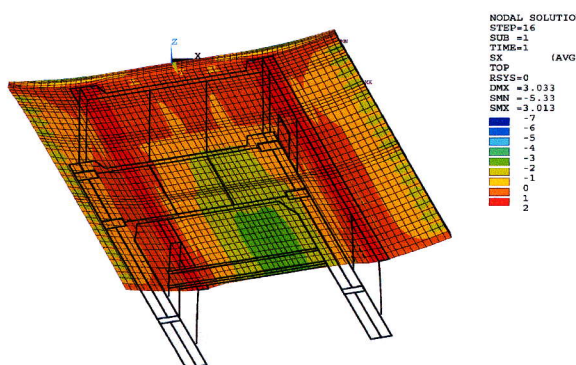
表-2 ひび割れに対する対策

	ひび割れの原因	対策
橋軸方向	・横梁上PC鋼材の偏心配置に起因する曲げクリープ変形の進展 ・床版上下面の温度差に起因する床版反り変形	・横梁上のPC鋼材を偏心配置から直線配置へ変更 ・床版上下縁の鉄筋量増加によるひび割れ抵抗性の向上
橋軸直角方向	・乾燥収縮	・収縮補償として用いられる膨張材の添加
構造全体	・発生応力 ・PC鋼材の直線配に対する断面性能の確保	・床版形状の改善（打ち下ろし形状）

FEM解析におけるクリープ・乾燥収縮後の応力分布は図-10のようになり、問題となる応力は発生しないことが確認された。実験模型においても、緊張後6ヶ月が経過した時点で橋軸方向のひび割れは発生せず、表-2の対策は有効であることが確認された。橋軸直角方向には乾燥収縮に起因する微細なひび割れが若干発生し、また、横桁部分の垂直補剛材直上スタッドジベルには比較的大きな引張力が生じることが観察されたが、コンクリート配合の改善と補強鉄筋で対処することとした。



床版上面橋軸直角方向応力度分布



床版下面橋軸直角方向応力度分布

図-10 FEM解析結果（クリープ・乾燥収縮後）

4. 実橋への反映

2/3モデルによるPC床版プレストレス導入実験と三次元FEM解析の結果から、以下の設計方針で横梁上および横梁近傍のPC床版の設計を行うこととした。

4.1 PC鋼材配置

横梁近傍部（主桁支間の3/4）は3割程度のプレストレスロスが生じることから、この区間のPC鋼材間隔を@500から@375と狭くして、床版プレストレス量を補うこととした。同時に、PC鋼材の偏心配置に起因する床版の反り変形を防止するために、この区間のPC鋼材は直線配置とした。

4.2 床版断面形状

横梁上と横梁近傍部（主桁間隔の1/2）は床版を打ち下ろすこととし、横梁の拘束により生じるひび割れに抵抗するため、この部分の主鉄筋径をD13からD19に変更した。

4.3 コンクリート配合

自己収縮や乾燥収縮を低減するため、膨張材を添加するとともに、高性能AE減水剤を使用した貧配合として、セメントと水の量を極力少なくした。また、床版厚が32cmで水和反応熱による影響が比較的少ないと判断されたため、若材令時におけるひび割れ防止の観点から、早強ポルトランドセメントを採用した。

4.4 補強鉄筋配置

ひび割れの生じやすい主桁ハンチ部分は、従来の配筋方法では一般部と比べてハンチ高の分だけ鉄筋量が少なくなるため、中段補強鉄筋を配置して鉄筋比1.4%程度の鉄筋量を確保することとした。また、合成桁的な挙動による水平せん断力を考慮して、端支点および中間支点部にジベル補強鉄筋を設置した。

4.5 適用範囲

横梁近傍部床版の簡易的な設計方法を提案したが、これらは、模型実験や三次元FEM解析の結果から得られた見解であり、無条件に同種の構造全てに適用できるものではない。実際に、鋼横梁の断面が大きくなるに従い、床版に導入されるプレストレス量は少なくなり、これらは直後プレストレスよりもクリープ・乾燥収縮による影響が大きなことがわかっている。そのため、鋼横梁と床版の断面剛性の比（断面構成比 α ）をパラメータとした整理を行い、適用範囲を $\alpha \leq 0.4$ と定めた。

$$\alpha = \frac{A_s \times I_s}{A_v \times I_v}$$

A_s, I_s : 鋼横梁の有効断面積と剛性

A_v, I_v : 床版と鋼横梁の合成断面の有効断面積と剛性

5. あとがき

本実験は、日本橋梁(株)・住友金属工業(株)共同企業体で受注した三郷東高架橋（鋼上部工）中工事の一部として行ったものであり、施主である日本道路公団東京建設局やさいたま工事事務所の方々には、多大なる御指導や御助言を頂いた。同時に、共同企業体を構成する住友金属工業(株)をはじめ、隣接工区の方々には大変お世話になった。この場を借りて謝意を表したい。

今回は、剛な横梁を有する現場打ちPC床版の検証実験として、2/3モデルを使用したPC床版プレストレス導入実験について記述したが、この他にも、実橋での計測や、1m供試体を使用した床版コンクリート材料比較試験なども行っている。これらについては、また別の機会に報告したいと考えている。

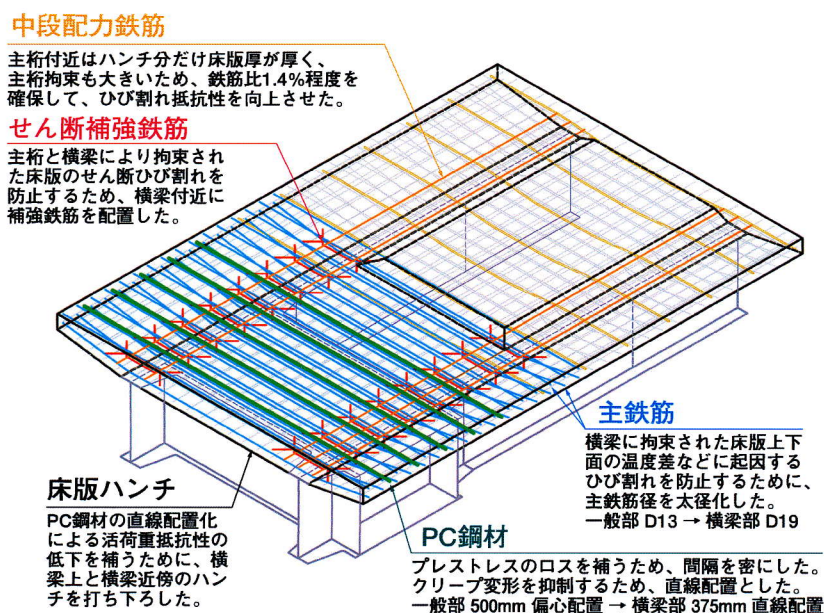


図-11 横梁上および横梁近傍のPC床版構造