

鋼横梁を有する連続ラーメン PC 床版2主桁橋の床版プレストレス導入実験について

日本道路公団 田中 伊純
日本道路公団 志村 泰広

住友金属工業 正会員 ○利根川 太郎
日本橋梁 正会員 中原 智法
住友金属工業 正会員 松野 正見

1. はじめに

東京外環自動車道の三郷JCT～三郷南ICは、図-1に示すような鋼横梁を介して上下部一体構造とした複合ラーメン形式を採用している。標準的な上部構造は、場所打ちPC床版を有する主桁間隔6mの鋼連続2主桁であり、上下線の主桁を支点部において鋼製横梁により1本のコンクリート橋脚で支持する構造である。一般に、中間支点付近の場所打ちPC床版には、剛性の高い横梁の拘束を受けることから、プレストレス導入量の低下等の問題があり、また鋼部材の拘束によりコンクリートのクリープ・乾燥収縮といった経時変化挙動に留意する必要がある。実橋を対象としたFEM解析を行った結果、クリープ・乾燥収縮を考慮した場合、一般的なPC構造物の「直後プレストレス」と「有効プレストレス」の関係以上にプレストレスが低下し、約3割程度のプレストレスが鋼横梁に流れることが判明したため、プレストレス導入量を決定した。ここでは、設計の妥当性確認のために行った 2/3 縮尺モデルでの PC 床版プレストレス導入実験の結果、それを踏まえた床版設計方針について述べる。

2 プレストレス導入実験

2.1 実験の概要

実橋想定断面に対してのFEM解析にて、鋼横梁の拘束がない範囲までが主桁間隔の1倍程度（横梁ウェブから約6m程度）であることが確認されていたため、橋軸方向に対しては、主桁間隔の1.5倍まで、橋軸直角方向に対しては、上下線で床版が分離されていることから、複合剛結部を含まない2主桁とし、主桁間の鋼横梁のみモデル化することとした。図-2に実験供試体のモデル対象を示す。PC鋼材は、導入応力が実橋と同じとなるように決定し、鉄筋は実橋と鉄筋比が同じとなるように径と間隔を決定した。

実験における主たる着目断面は、横梁の影響がないと想定される断面と、中間横桁位置、横梁ウェブ位置であり、これらの床版ひずみ分布によりプレストレスの損失を把握することとし、着目断面では、床版上下面ならびに主鉄筋のひずみを計測した。

実験供試体のFEM解析は、床版をsolid要素、鋼桁をshell要素とし、PC鋼材をcable要素とし、緊張力に相当する等価な温度荷重を作用させて、プレストレスを作用させた。なお、スタッドジベルはモデル化せずに鋼桁と床版とは節点共有で処理した。

2.2 PC緊張直後の実験結果とFEM解析結果の比較

緊張直後プレストレス量に対しては、横梁の拘束（プレストレスが横梁に流れる）により、軸力換算で一般部の約7割程度のプレストレスが導入される計測結果となり、FEM解析の結果と良好な一致を示した。図-3に床版支間中央の床版コンクリートのひずみ分布を示す。鋼桁の拘束により、床版上下面のひずみの平均値は小さく、PC鋼材は偏心配置をしているにも関わらず、床版上下面のひずみの差は小さくなっている。これは、鋼横梁の影響により、プレストレス導入対象断面積および断面定数の増加によるも

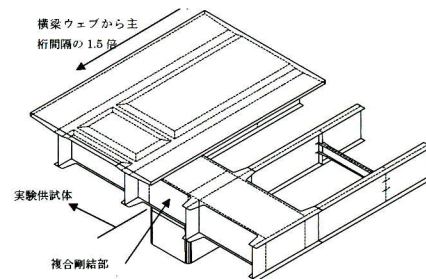


図-1 構造概念図

＜モデル化範囲＞ 縮尺 2/3

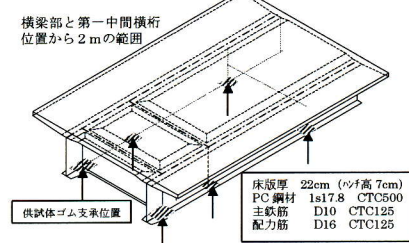


図-2 実験供試体のモデル化範囲

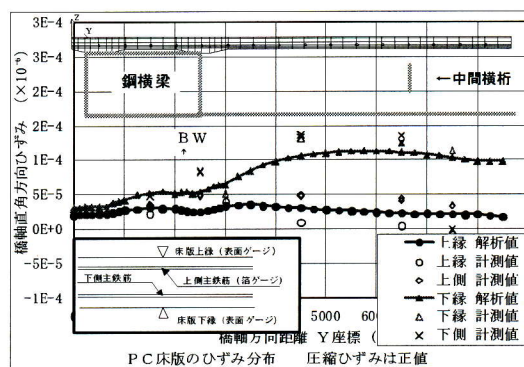


図-3 PC床版の床版支間中央のひずみ分布

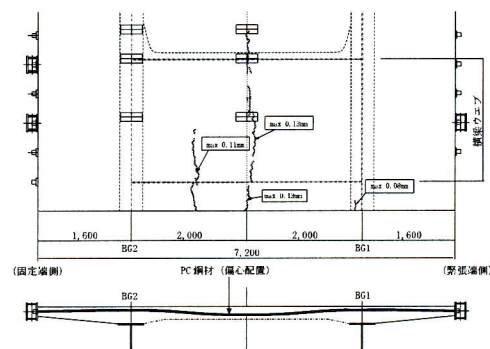


図-4 床版クラックマップ

キーワード：有効プレストレス，場所打ち PC 床版，鋼横梁，温度差

〒541-0041 大阪市中央区北浜 4-5-33 Tel06-6220-5630 Fax 06-6220-5912

のである。

2.3 クラック発生について

PC 緊張後約 2 ヶ月で、橋軸方向クラック（ひび割れ幅最大 0.16mm）の発生（図-4）ならびに、無数の橋軸直角方向の乾燥収縮クラック（ひび割れ幅 0.02～0.16mm 程度）が確認された。

2.4 クラックに対する考察

一般に、日照の影響で昼間においては床版上面の温度が下面の温度に対して低くなり、夜間においてはその逆となると推定される。真夏の夜間時において、横梁位置の床版には上下面温度差の影響で相当量、下に凸になる挙動が生じていたにも関わらず、主桁のそり変形を横梁が拘束すると、床版の幅員中央の上面には引張りひずみが発生する。一方、当該部には PC 鋼材の偏心配置により、床版上面にはプレストレスが導入されていないので、ひび割れが生じやすい。

これらを検証する意味で、温度上昇時（主として午前中の挙動）、温度下降時（主として外気温の下がる夕方）の 2 ケースを想定して、6 月の温度差荷重を与えた FEM 解析を行い、実測値との比較を行った。

温度上昇時は、横梁の拘束により床版コンクリートに概ね圧縮応力が作用するため、引張りを助長する方向にははたらかないが、温度下降時の解析結果によると、横梁上の上側の鉄筋位置で、80 μ 程度の引張りひずみが生じたため、概ね計測値と一致する傾向を示した。また、横梁から離れたラインほど、温度変化による発生ひずみは小さくなっており、自由な収縮・膨張を示しており、横梁の影響が少なくなる傾向を、解析値および計測値ともに示している。

以上より、温度下降時に横梁の拘束により下に凸になろうとする変形を抑えるため、横梁上の床版上面には、引張りが生じ、かつ PC 鋼材の偏心配置によりそれが助長され、曲げ剛性の低下→引張応力度の増加となる繰り返しの日変動で行ったことが、結果としてひび割れの発生の主要因であると考えられる。図-5に概念図を示す。

2.5 実験結果を踏まえた床版の断面検討

2.5 で示した PC 鋼材の偏心配置による曲げクリープ変形によるひび割れ発生を防止するため横梁付近の PC 鋼材配置を軸力配置にした場合、横梁上は床版を打下ろすことで解決されるが、横梁を離れた横梁付近の床版（以下、横梁近傍部の床版）では、活荷重時に床版下面で床版コンクリートの許容引張応力度を大きく超過するため設計が成り立たない。一方、活荷重応力の低減のために床版厚の増加（打ち下ろし）で対応した場合、死荷重応力の増加、床版断面積の増加に伴う平均プレストレス導入力の低下、ならびに乾燥収縮によるプレストレス低下が予想される。したがって、横梁近傍部での活荷重時の応力度を下げるためには、PC 鋼材の適度な偏心配置と床版断面の検討が必要となったため、実橋の FEM 解析を行い、横梁直上のみではなく、横梁ウェブ位置から主桁間隔の 1/2 の範囲までを打ち下ろし構造とすることが設計荷重時に最も有効であることがわかった。

2.6 主鉄筋径の検討

実橋においては、T 型の橋脚形状であることから、横梁直上の床版に主構作用による断面力が床版に作用することになり、床版支間方向（プレストレス導入方向）に引張りが生じる荷重ケースが考えられる。また、上述のとおり、床版上下面の温度差による床版のそり変形を横梁が拘束することによって、引張応力が発生する。以上のことから、床版上下面の温度差応力と横梁主構作用応力に対しては、それぞれの荷重に対して、発生引張力を床版主鉄筋にて抵抗することとし、横梁部の必要主鉄筋量の算出を行った。その結果、通常の 2 倍程度の鉄筋量が必要となり、D19 の主鉄筋を 125mm ピッチにて配置することとした。

3. まとめ

- ①FEM解析検討にて想定した PC プレストレス量の損失が鋼桁の拘束によって、3割程度生じることが実験的にも確認された。
- ②床版上下面の温度差を鋼横梁が拘束することによって生じたと想定されるクラックを分析したうえで、表-1に示す床版構造の改善を図った。

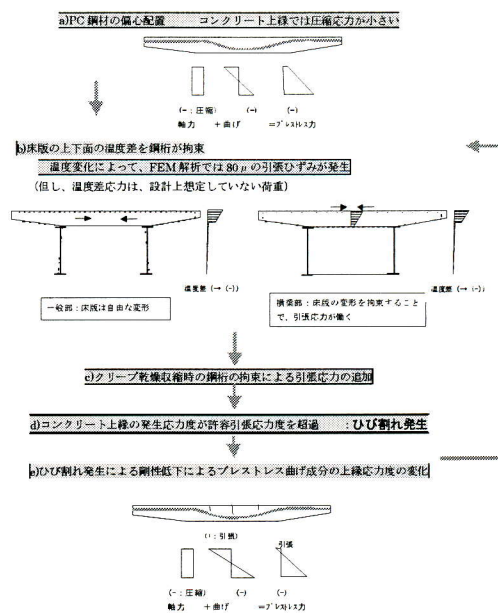


図-5 ひび割れ発生のフロー

表-1 実験結果を踏まえた床版構造改善策

問題点	原因の特定	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	導入プレストレス量を解析で想定した3割増しとするが、横梁上の PC 鋼材偏心配置を見直し、偏心をなくした軸力配置とする。
	日照による床版上下面の温度差に起因する床版そり変形の鋼横梁による拘束	そり変形の拘束による床版上下縁の鉄筋量増加により、ひび割れ抵抗性向上を図る。（主鉄筋径 D13→D19）
橋軸直角方向	乾燥収縮の低減	収縮補償として用いられる膨張材の添加。
全体構造の改善	上記要因ならびに設計荷重に対する抵抗性向上	床版構造の改善（横梁上ならびに横梁近傍部の打下ろし）