

## 鋼横梁を有する連続ラーメン PC 床版 2 主桁橋の解析的検討

日本道路公団

田中 伊純

日本道路公団

志村 泰広

日本橋梁 正会員 中原 智法

住友金属工業 正会員 利根川太郎

住友金属工業

正会員 ○松野 正見

## 1. 概要

東京外環自動車道の三郷JCT～三郷南ICは、図-1に示すような鋼製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。一般的に、鋼桁の拘束によるプレストレス低下が懸念される箇所である横桁近辺などに比べて、横梁の拘束力はかなり大きくなり、PC 床版へのプレストレスが導入されにくいと考えられる。そこで、PC 床版へのプレストレスの導入量を定量的に把握するために 2/3 サイズの模型実験及び解析を実施し、その結果を踏まえて横梁付近の構造を決定した。本報告では、決定した構造に対して実橋断面を用いて 3 次元弾性解析を行い、緊張直後の PC 床版の応力分布及びクリープ・乾燥収縮後の PC 床版の応力分布を把握するとともに、実橋における設計上の参考値の算出及び設計方針の適用範囲の確認を行った。

## 2. 解析手法

解析対象モデルは、概略設計断面をモデル化し、3次元弾性解析を行う。解析モデル図を図-2に示す。PC 床版を横梁近傍部で打ち下ろすことで、PC 鋼材によるプレストレスに合成断面にて抵抗することから、モデル化の範囲は横梁による影響を受ける範囲全域として、横梁中心から 10.25m（横梁区間 1.75m+床版打ち下ろし区間 3.5m+一般部 5m）の範囲とする。解析モデルは、コンクリート・鋼桁・PC 鋼線の各種影響を把握できるように、PC 床版：ソリッド要素、鋼桁：シェル要素、PC 鋼線：ケーブル要素とする。コンクリートと PC 鋼線の結合条件は節点変位を拘束する。PC 床版と横梁の結合条件は、主桁・横梁ウェブ・添接板上では水平・鉛直変位とも固定とし、横梁一般部では鉛直変位のみ固定とする。プレストレスの導入は、設計計算で算出された有効プレストレスに相当する導入応力が生ずる温度変化による応力として PC 鋼線に入力する。

## 3. 横梁近傍部の実荷重応力の算定

一般的に床版支間部は正曲げを緩和するために PC 鋼材を偏心配置させるが、2/3 サイズの模型実験及び解析より、鋼横梁上及び横梁近傍部の PC 鋼材を偏心配置させた場合、横梁の拘束により負曲げが生じる結果となっていることから、横梁上は床版を打ち下ろし、PC 鋼材を直線配置とし、横梁近傍部については床版を打ち下ろし、PC 鋼材を直線に近い配置とする。その結果、横梁近傍の床版支間部では活荷重以外の荷重に対して良好な設計応力状態となるが、道路橋示方書の床版の設計式を準拠すると活荷重時の応力は厳しいものとなる。しかし、横梁近傍部は通常の床版構造とは異なるため、解析により応力状態の確認を行った。輪荷重については、各着目点で最も不利な応力が働くように、着目位置上に載荷することとする。

表-1に解析結果を示す。横梁ウェブに近づくほど応力が緩和される結果となった。これは、現状の剛結部 PC 床版は、活荷重に対して主桁と横梁で支持された 3 辺固定板となり、活荷重により生ずる応力は道路橋示方書の床版の設計値より小さくなるためと考えられる。

## 4. 横梁近傍部有効プレストレス時の低減係数の算出

本解析において、クリープ・乾燥収縮を道路橋示方書にしたがって考慮した場合、鋼桁の拘束によりかなりのコンクリートの圧縮応力度が低減され、鋼横梁との合成作用による発生応力度は極めて低いことから実挙動としては問題ないと考えられる。横梁近傍部についても図-3に示すように設計値に対して圧縮応力の低減が著しいが、設計値と解析結果から得られる圧縮応力度の比を低減係数とすることで一般的な設計上の応力度の重ね合わせが可能であると

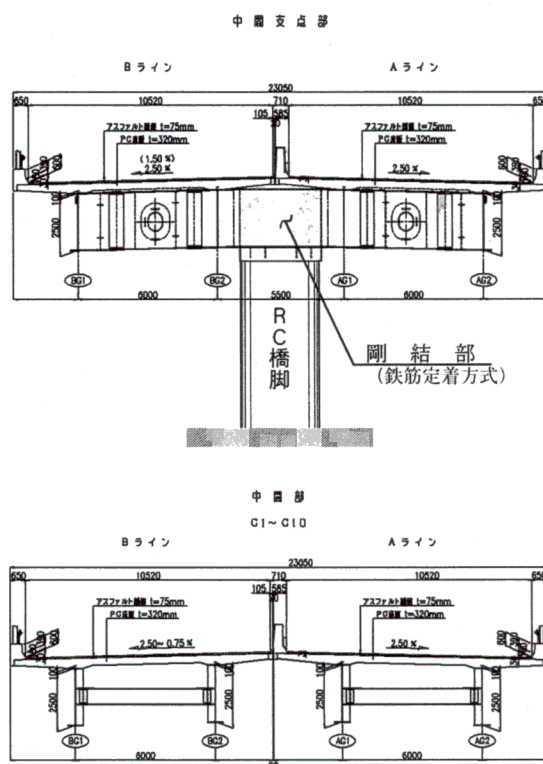


図-1 構造概要

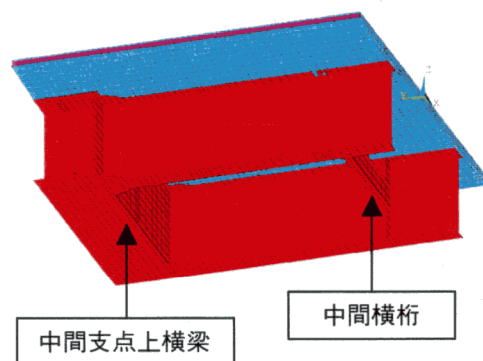
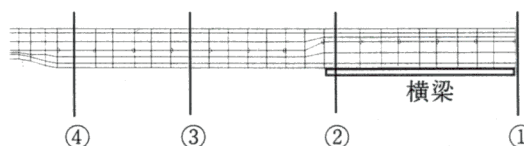


図-2 解析モデル図

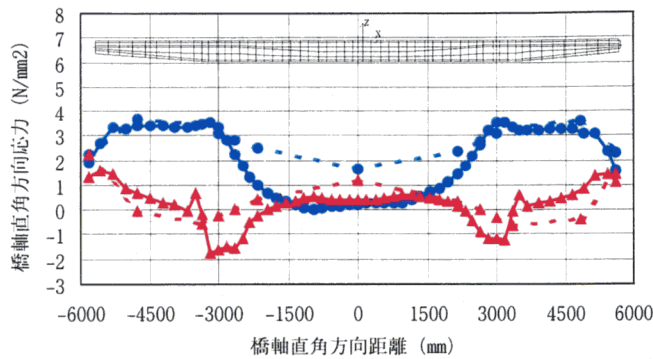
表-1 活荷重による幅員中央の床版応力

|                 | 床版応力 (N/mm <sup>2</sup> ) |       |
|-----------------|---------------------------|-------|
|                 | 上面                        | 下面    |
| ①横梁中心           | 0.98                      | -0.63 |
| ②横梁ウェブ近傍        | 0.70                      | -0.22 |
| ③横梁ウェブから 1250mm | 1.17                      | -0.89 |
| ④横梁ウェブから 2750mm | 2.11                      | -1.78 |

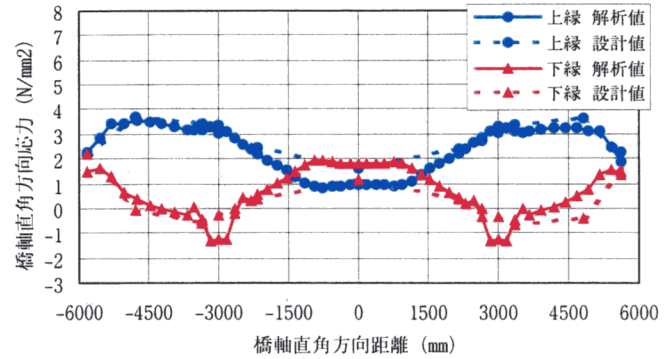


キーワード：有効プレストレス、3次元弾性解析、場所打ち PC 床版、鋼横梁

〒314-0255 茨城県鹿嶋郡波崎町大字砂山 16-1 tel 0479-46-6861 fax 0479-40-0510



(a) 横梁ウェブより 0.500m の位置



(b) 横梁ウェブより 2.750m の位置

図－3 橋軸直角方向応力分布

考える。

表－2 に算出した低減係数を示す。低減係数は、ケース①として横梁の拘束が最も大きい横梁フランジ端から 620mm の範囲（図－4）の幅員中央応力値の平均、ケース②として、打ち下ろし部区間全体の幅員中央応力値の平均に対して算出した。

解析に載荷する T 荷重載荷位置を図－5 に示す位置とすると簡易式より曲げモーメントは 458kN・m となる。また、床版設計時の活荷重曲げモーメントは 94.958 kN・m/m となることから、輪荷重は床版の橋軸方向（約 4.8m）に荷重分配（荷重分布）していることとなり、T 荷重による解析の照査にて問題ないといえる。

横梁近傍部に T 荷重を載荷した解析を行い、重ね合わせ応力の照査を行った結果を表－3 に示す。表より、重ね合わせ応力上問題ない結果となった。

#### 5. 解析モデルの適用範囲

実際の横梁には解析で行ったモデルよりも拘束の厳しいモデルも考えられる。そこで、2/3 サイズの模型実験及び解析にて決定した設計方針の適用範囲について検証を行った。断面構成比（ $\alpha = (\text{鋼桁の断面積} \times \text{剛度}) / (\text{合成断面の断面積} \times \text{剛度})$ ）をパラメーターとして、①  $\alpha = 0.314$ 、②  $\alpha = 0.417$ 、③  $\alpha = 0.494$  について解析を行った。各モデルは、横梁の上下フランジのみを変化させることで断面構成比を変化させている。

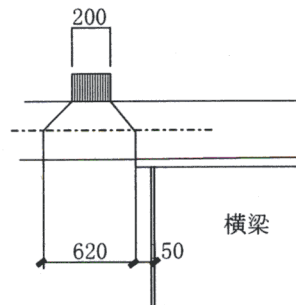
図－6 に各ケースにおけるクリープ・乾燥収縮後の橋軸直角方向応力度のコンター図を示す。解析結果より次の傾向を確認することができた。(1)  $\alpha$  が大きくなるに従い、緊張後プレストレスは小さくなる。(2)  $\alpha$  が大きくなるに従い、有効プレストレスは小さくなる。(3) 横梁近傍部のコンクリート上縁応力度から判断して、 $\alpha$  が大きくなるに従い、直後プレストレスのロス以上に、クリープ・乾燥収縮後のロスが大きくなる。(4) ケース③では、横梁近傍部において死荷重時に引張りが生じ PRC 設計が成り立たないため、設計方針の適用外とし、別途検討する必要がある。(5) ケース①、②は設計方針が成り立つ解析結果となり、設計方針の適用範囲は  $\alpha = 0.45$  程度までとする。(6) 主桁高 2.5m、横梁ウェブ間隔 4m で 1 本柱の場合、解析結果によると、上下フランジ厚がともに 60mm 程度までが設計方針の適用範囲となる。

#### 6. まとめ

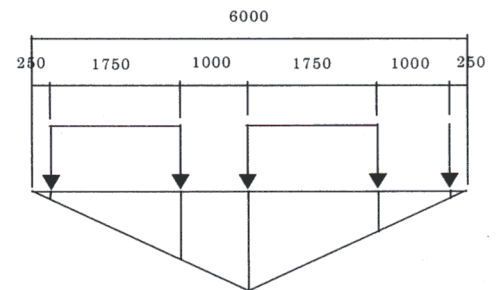
(1) 横梁近傍部の床版は横梁の拘束により実応力が低減される。(2) 低減された応力を一般的な設計に反映するための参考値として低減係数の算出を行った。(3) 2/3 サイズの模型実験及び解析で決定した設計方針は断面構成比が 0.45 程度以下に適用できる。

表－2 有効プレストレス時の低減係数

|      |        | FEM<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 設計値<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 解析誤差 | 低減係数 $\beta$ |
|------|--------|-----------------------------|-----------------------------|------|--------------|
| ケース① | 上縁平均応力 | 0.216                       | 1.633                       | 1.1  | 0.12         |
|      | 下縁平均応力 | 0.304                       | 1.190                       | 1.1  | 0.23         |
| ケース② | 上縁平均応力 | 0.582                       | 1.633                       | 1.1  | 0.32         |
|      | 下縁平均応力 | 1.411                       | 1.190                       | 1.1  | 1.08         |



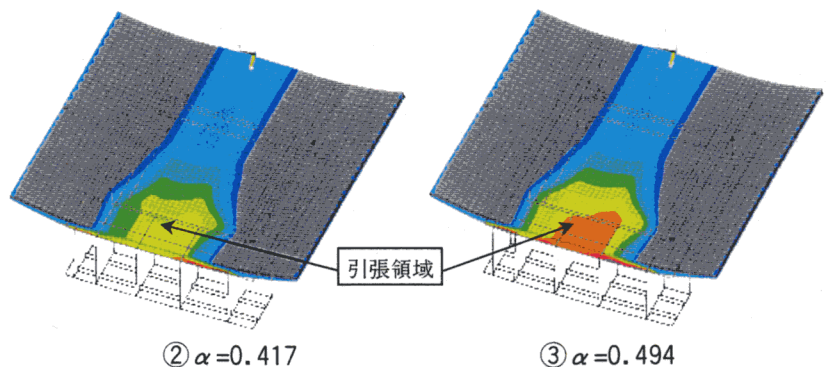
図－4 輪荷重載荷位置



図－5 解析における T 荷重載荷位置

表－3 応力照査

|                                                  | 上縁    | 下縁     |
|--------------------------------------------------|-------|--------|
| ①床版自重+有効プレ                                       | 1.633 | 1.190  |
| ②後死荷重                                            | 0.086 | -0.086 |
| 低減係数 $\beta 1$                                   | 0.12  |        |
| ①' = ① $\times \beta 1$                          | 0.206 |        |
| 低減係数 $\beta 2$                                   |       | 0.23   |
| ①' = ① $\times \beta 2$                          |       | 0.256  |
| 死荷重小計                                            | 0.206 | 0.256  |
| 判定 ( $0 \leq \sigma \leq 15$ )                   | OK    | OK     |
| 活荷重 (解析結果)                                       | 0.700 | -0.220 |
| 死荷重+活荷重                                          | 0.906 | 0.036  |
| 判定 ( $\sigma_{tk}(-2.155) \leq \sigma \leq 15$ ) | OK    | OK     |

(N/mm<sup>2</sup>)②  $\alpha = 0.417$ ③  $\alpha = 0.494$ 

図－6 クリープ・乾燥収縮後の橋軸直角方向応力度のコンター図