

# ハイラーキ RC 要素による 2 主桁橋のモデル化に関する検討

A Consideration on Hierarchical RC-Element Modeling for Prestressed Concrete Slab of 2-I Girder Bridge

函館工業高等専門学校 正 員 渡辺 力 (Chikara WATANABE)  
 函館工業高等専門学校 ○学生会員 阿部寿郎 (Shiro ABE)  
 長岡技術科学大学名誉教授 正 員 林 正 (Masa HAYASHI)

## 1. まえがき

2 主桁橋など鋼・コンクリート複合橋梁構造物の有限要素解析では、プレストレストコンクリート (PC) 床版内に配置された鉄筋や PC 鋼材などの補強鋼材を無視して計算されることが多い。本研究では、コンクリート床版内の鉄筋や PC 鋼材を実構造に忠実にモデル化し、橋梁などの全体剛性に及ぼす PC 床版の等価剛性を正確に評価して全体解析を行うために、ハイラーキ RC 要素の開発をすすめている<sup>1)~3)</sup>。

本報告では、ハイラーキ RC 要素を 2 主桁橋に適用し、PC 床版のモデル化について検討した結果を報告する。小規模な 2 主桁橋を計算モデルに用い、PC 床版内の鉄筋と PC 鋼材をハイラーキ RC 要素により忠実にモデル化し、自重 (D), T 活荷重 (L), プレストレス力 (PS) を載荷した状態での床版応力を細分割した有限要素解と比較して、ハイラーキ RC 要素の精度と適用性を検証する。

## 2. ハイラーキ RC 要素

ハイラーキ RC 要素は図-1(b)のようにソリッド要素内に鉄筋や PC 鋼材などのケーブル要素を埋め込んだ要素である。ケーブル要素の変位関数にソリッド要素の一般化変位を用いて軸方向に級数展開することによって、補強鋼材配置位置での要素分割を必要としない。さらに、コンクリートと鋼材の付着に関しては、変位関数にすべり係数を与えることで制御できる。

鉄筋や PC 鋼材などのケーブル要素は、ハイラーキ写像の手法を用いることにより曲線形状にも配置でき、PC 鋼材におけるプレストレスは初期応力として定式化している。

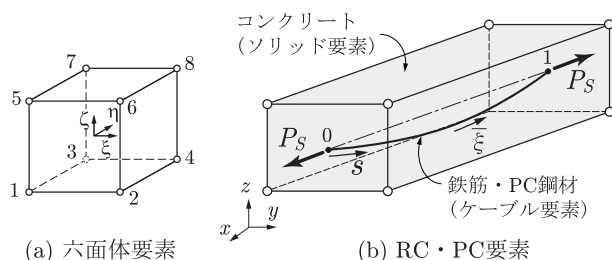


図-1 ハイラーキ RC・PC 要素

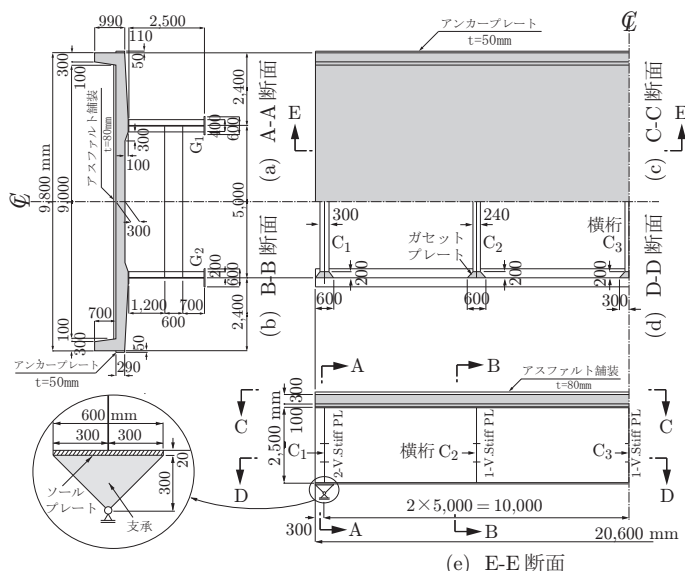


図-2 2 主桁橋

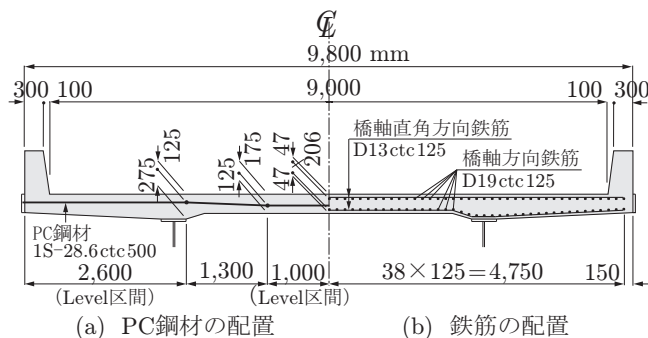


図-3 PC 鋼材と鉄筋の配置

## 3. 数値計算例

### (1) 計算モデル

計算モデルは図-2に示す支間 20m、幅員 9m、主桁高 2.5m、主桁間隔 5m、PC 床版厚 0.3m の 2 主桁橋で、床版と主桁上フランジは完全に結合されているものとする。主桁には 5m 間隔に垂直補剛材を配置し、横桁を 5 本有する。垂直補剛材は支点上では両側に、その他は片側のみに配置して、横桁はガセットプレートにより主桁の腹板に結合する。PC 床版の端部には X 軸方向に一樣な厚さ 50mm のアンカープレートを設置する。また、主桁の断面諸量と材料定数は文献 4) と同様である。

PC 床版の鉄筋は、橋軸方向には異形鉄筋 D19 を、

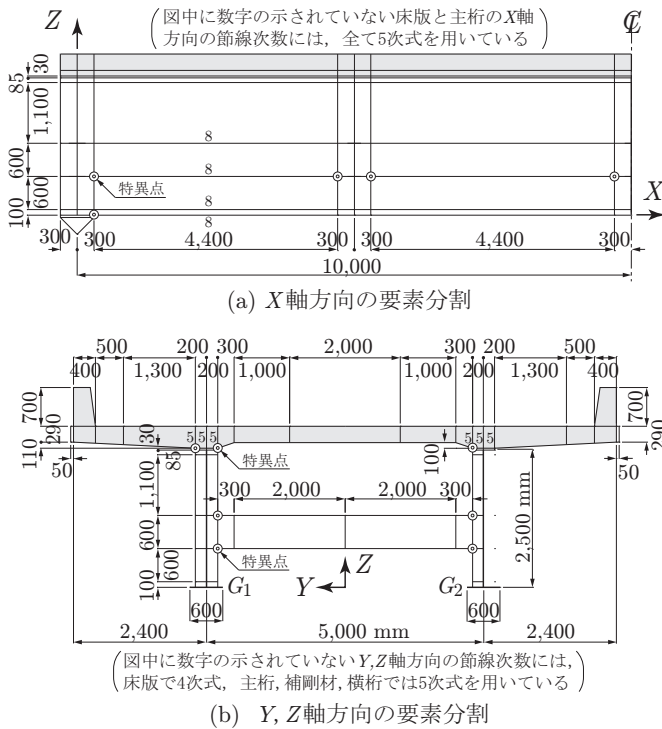


図-4 要素分割と変位関数の次数

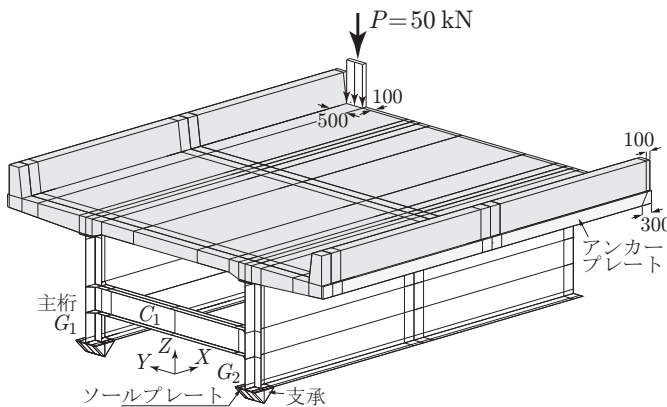


図-5 活荷重 (T 荷重) の載荷状態

橋軸直角方向には D13 を 125mm 間隔に図-3(b) に示すように配置する。PC 鋼材は PC 鋼より線 1S-28.6 を図-3(a) のように 500mm 間隔に折曲配置し、1 本当たり 550kN の有効プレストレス力 (有効緊張力) を与える。なお、有効プレストレス力は、道路橋示方書に従い緊張直後の張力減少と経時的減少を考慮して定めている。

対称条件を考慮して構造全体の 1/2 領域を計算する。支点上での応力集中を緩和するために、ソールプレートとローラー支承をモデル化し、境界条件は支承下端の鉛直変位を線支持としている。

床版を RC 要素で、アンカープレート、ソールプレート、支承をソリッド要素で、主桁、横桁、補剛材、ガセットプレートは平面シェル要素でモデル化し、図-4

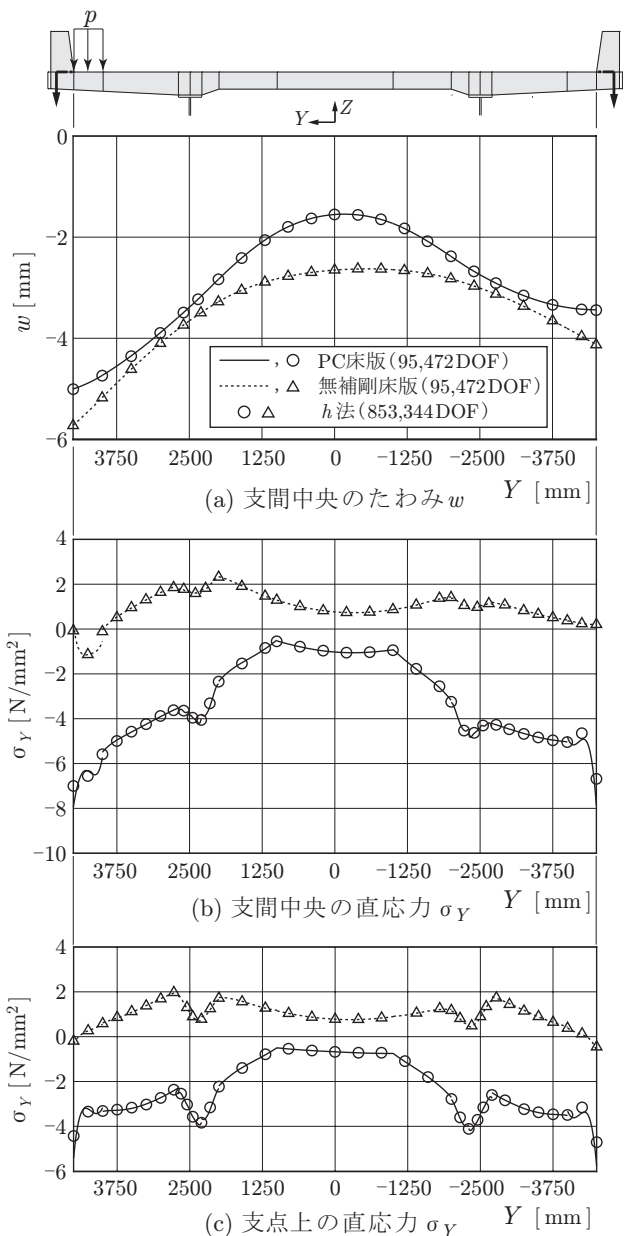


図-6 床版のたわみと応力

に示す要素分割を用いる。X 軸方向の変位関数の次数には、図-4(a) の図中に示す一部の節線を除き 5 次式を用いる。Y, Z 軸方向には、床版で図-4(b) の図中に示す一部を除き 4 次式、主桁と横桁で 5 次式を用いる。また、図中の◎印の位置に特異点<sup>5)</sup>を配置する。これより、節点数 652、要素数 431、総自由度数 95,472 でモデル化している。なお、橋軸方向鉄筋と橋軸直角方向鉄筋は、かぶり 55mm として同一平面内に配置している。

比較解には、汎用構造解析システム ADINA<sup>6)</sup>により、8 節点シェル要素と 20 節点ソリッド要素により細分割した  $h$  法による解 (節点数 283,706、要素数 89,308、総自由度数 853,344) を用いる。なお、比較のための  $h$  法では鉄筋を埋め込みトラス要素でモデル化し、PC 鋼材は節点間にトラス要素を配置し温度差を与えてプレ

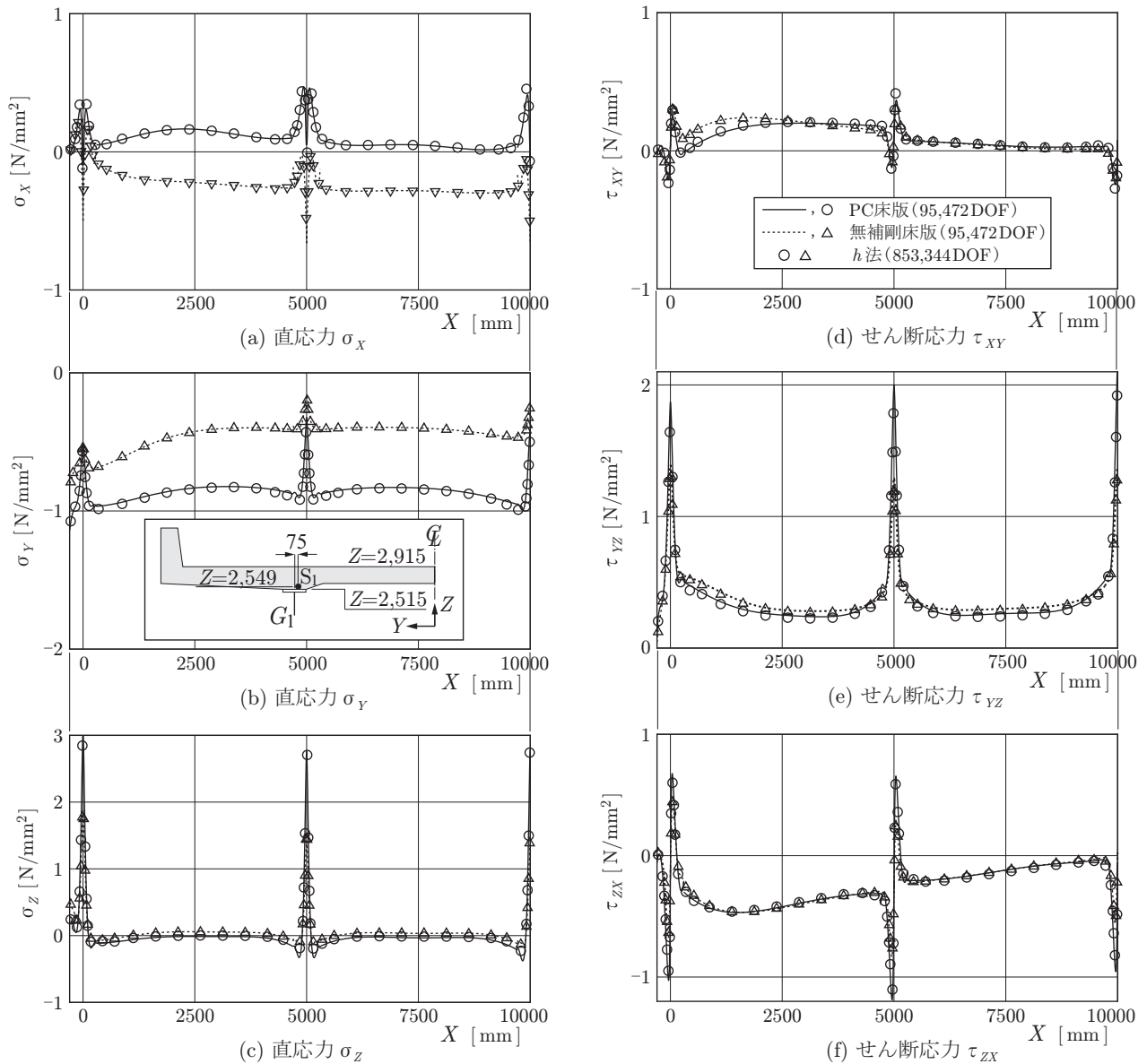


図-7 床版応力の X 軸方向の分布

ストレス力を載荷している。

荷重は、死荷重 D (自重, 舗装), 活荷重 L (B 活荷重の T 荷重), プレストレス力 PS を載荷する (D+L+PS)。死荷重は自重を物体力として与え, アスファルト舗装 ( $t=80\text{mm}$ ) は橋面に等分布荷重として与える。T 活荷重には衝撃 ( $i=0.2857$ ) を考慮し, 図-5 のように輪荷重を偏心載荷させる。

## (2) プレストレス力の影響

図-6 は, 支間中央におけるたわみ  $w$  と直応力  $\sigma_Y$ , 支点上における直応力  $\sigma_Y$  の床版上縁での Y 軸方向の分布を示したものである。比較のために, 床版内の鉄筋, PC 鋼材とプレストレス力を省略して無補剛床版とした場合の値を点線で, 細分割した  $h$  法の解を○印 (PC 床版), △印 (無補剛床版) で示している。

PC 床版の変位と応力にはプレストレス力の影響が

大きく現れており, たわみ  $w$  は無補剛床版に比べて減少している。また, 無補剛床版の応力は上側表面において引張応力となっているが, PC 床版ではプレストレス力により圧縮応力となっている。たわみ, 直応力ともに細分割した  $h$  法とも良く一致しており, ハイラーキ RC 要素により粗い要素分割を用いても十分な精度の計算値が得られている。

## (3) 床版の応力分布

図-7 は, 主桁上フランジとの結合部近傍  $S_1$  線上 ( $Y=2,425\text{mm}$ ,  $Z=2,549\text{mm}$ ) における応力の 6 成分の X 軸方向の分布を示したものである。線種や記号は図-6 と同じであるが, 比較のための  $h$  法では図心点応力を用いている。

プレストレス力の影響は, 直応力  $\sigma_X$  と  $\sigma_Y$  に大きく現れている。主桁上フランジに補剛材が取り付けく位

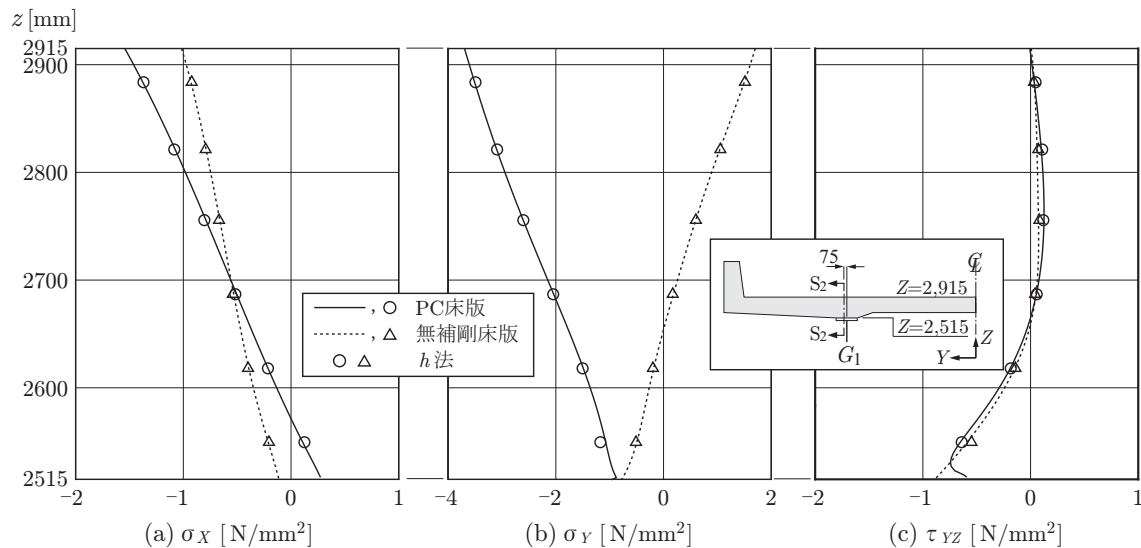


図-8 床版応力の Z 軸方向の分布

置 ( $X=0\text{mm}$ ,  $5,000\text{mm}$ ,  $10,000\text{mm}$ ) には、補剛材を介して大きな力が床版に伝達されることから応力集中が生じており、特に直応力  $\sigma_Z$  とせん断応力  $\tau_{YZ}$  で大きな応力集中が生じている。これらの応力を正確に計算するために比較のための  $h$  法では要素を細分割しているが、ハイアラーキ RC 要素では要素を細分割することなく、応力勾配が急激に変化する場合でも十分な精度の計算値が得られている。なお、本計算例では、応力の収束性を改善するために図-4(a) に示す主桁上フランジと床版との結合部に特異点<sup>5)</sup>(◎印)を配置して、特異 RC 要素を用いている。

図-8 は、支間中央での床版と主桁上フランジの結合部  $S_2$  線上 ( $X=9,980\text{mm}$ ,  $Y=2,575\text{mm}$ ) の直応力  $\sigma_X$ ,  $\sigma_Y$  とせん断応力  $\tau_{YZ}$  の Z 軸方向の分布を示したものである。図-4(a) に示すように本計算例では床版の板厚方向 (Z 軸方向) に要素分割をしていないが、変位関数の次数に 4~5 次式を用いて、細分割した  $h$  法による解と良く一致した応力が得られている。

#### 4. まとめ

2 主桁橋の PC 床版にハイアラーキ RC 要素を用いて、PC 床版の応力を検証した結果から以下のようことが言える。

- 1) ハイアラーキ RC 要素は、橋梁などの全体剛性に及ぼす RC・PC 床版の等価剛性を評価するための十分な精度を有している。
- 2) ソリッド要素を分割せずに多数の補強鋼材を任意の方向に任意の形状で配置できるので、計算効率が良い。

本報告では、ハイアラーキ RC 要素の精度と適用性を調べることを目的に、小規模な 2 主桁橋の計算モデルを用いてモデル化の検討を行った。以上の検討を踏まえて、今後、実規模の計算モデルにハイアラーキ有限要素法を適用する予定である。

#### 参考文献

- 1) 渡辺 力, 林 正, 斎藤道生: PC 構造へのハイアラーキ RC 要素の適用に関する基礎的検討, 土木学会第 61 回年次学術講演会講演概要集 (CD-ROM), pp.825-826, 2006.
- 2) 渡辺 力, 東 崇広, 林 正: ハイアラーキ RC 要素による鉄筋コンクリート床版の曲げ解析に関する一考察, 土木学会北海道支部論文報告集 (CD-ROM), 第 62 号, I-46, 2006.
- 3) 渡辺 力, 奥山雄介, 林 正: ハイアラーキ要素による PC 床版の曲げ解析, 土木学会北海道支部論文報告集 (CD-ROM), 第 64 号, A-42, 2008.
- 4) 渡辺 力, 大上裕之, 林 正: ハイアラーキ特異要素を用いた 2 主桁橋の局所応力解析に関するモデル化の検討, 土木学会北海道支部論文報告集 (CD-ROM), 第 63 号, A-25, 2007.
- 5) 林 正, 渡辺 力, 斎藤道生: 応力集中問題に対する特異写真関数, 土木学会論文集, No.738/I-64, pp.113-123, 2003.
- 6) ADINA Theory and Modeling Guide: ADINA R & D Inc., 2003.