

格子モデルを用いた PC 橋の解析方法に関する一考察

(株)オリエンタルコンサルタンツ (正) ○原田 健彦, 同左 (正) 岡田 昌之
国土交通省 国土技術政策総合研究所 (正) 玉越 隆史, 元 同左 [現 三井住友建設(株)] (正) 狩野 武

1. まえがき

PC 橋は、架設時(若材齢時)に温度やクリープ・乾燥収縮及び鉄筋拘束等により内部応力が蓄積され、初期変状が生じ易い。この架設時応力の評価及び照査は長寿命化の観点から重要であるが、従来設計法では評価が困難なため、構造細目による仕様の規定や高度な三次元 FEM 解析等による照査が行われてきた。しかし、FEM 解析を用いた設計は、モデル化作業が煩雑で時間を要すること等から実務的には課題が多い。そこで、簡素かつ一定の精度で部材毎の断面力を評価する簡易設計手法について検討した。本文では、PC 単純箱桁橋を対象とした二次元モデルによる検討結果を述べる。

2. 簡易設計手法の概要

(1) 概要 本手法では、架設時応力や使用限界を対象とし、図-1 に示すような格子状のモデルを用いた骨組解析を行う。このモデルの特徴は、床版やウェブを独立させてモデル化することで、各部材の断面力負担分が直接的に求まり、力の伝達機構が明確化されることである。また、各部材を独立させることで、部材毎に目的に応じた荷重や作用を直接的に与えられ、例えば、初期の材齢差に伴う体積変化の作用を段階的に着目部材に与えれば、打継目付近の初期の応力評価等が可能になる。更に、高度な全体系 FEM 解析に依らずとも、図-2 に示すように、一部のウェブ(以下、パネル群と称す)を取出し、骨組解析で得られた変位を強制的に与えた部分 FEM 解析を実行することで、簡素にウェブの応力性状等を導くことも可能になる。

(2) 格子モデル 図-1 に示すように、上・下床版は「はり要素」の水平材により、ウェブは「線要素」の斜材・鉛直材及び「はり要素」の水平材から構成される格子状のパネル(群)によりそれぞれモデル化する。

(3) 床版－ウェブ接合バネのモデル化 図-3 に示すように、床版及びウェブ節点は仮想剛部材を介した二重節点により結合し、この二重節点は回転を拘束して鉛直及び水平方向のバネ要素により結合する。また鉛直

バネ剛性 k_V 及び水平バネ剛性 k_H は、床版軸線からウェブ上端(下端)間における床版の鉛直方向弾性変形及びせん断変形を考慮し、次式でそれぞれ求まる。

$$k_V = \frac{2 \cdot E_c \cdot A_j}{d} \quad \text{----- (1)}, \quad k_H = \frac{2 \cdot G_c \cdot A_j}{d} \quad \text{----- (2)}$$

ここに、 A_j は変形を考慮する部分の断面積(ウェブ厚×節点間距離×ウェブ数)、 d は床版厚、 E_c と G_c はそれぞれコンクリートの弾性係数とせん断弾性係数である。

(4) PC 鋼材及びプレストレスカのモデル化 PC 鋼材は「線要素」として実配置し、プレストレス力は温度降下荷重により与える。特に、摩擦等のロスを考慮する場合には、部材を所要の数で分割し、要素毎に変化する

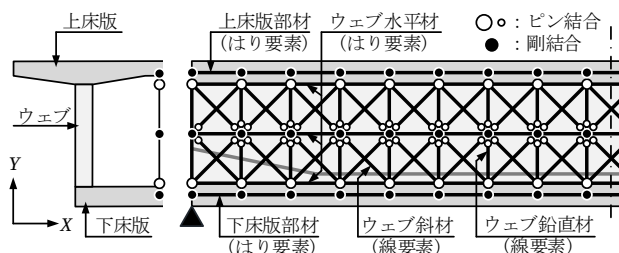


図-1 簡易設計手法に用いる格子モデル

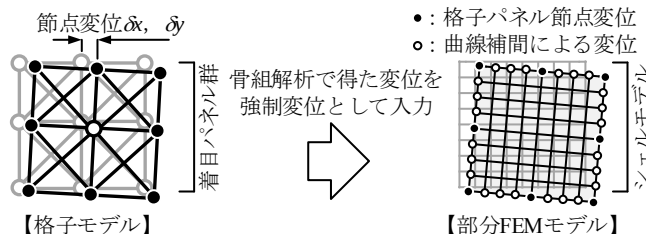


図-2 着目するウェブの部分 FEM 解析

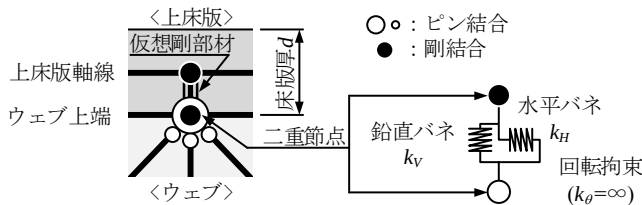


図-3 床版－ウェブ接合バネのモデル化

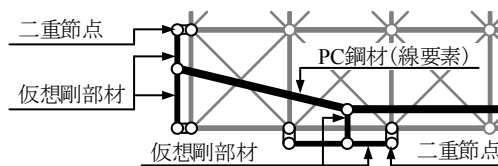


図-4 PC 鋼材偏向部のモデル化

キーワード：FEM 解析、骨組解析、PC 橋、初期変状、架設時応力、設計手法

連絡先：〒530-0005 大阪市北区中之島 3-2-18, TEL: 06-6479-2137, FAX: 06-6479-0506.

るプレストレス力を温度荷重で調整する。また、PC鋼材の偏向は、図-4に示すように、二重節点と仮想剛部材によりモデル化する。

(5) コンクリート部材の剛性設定 上・下床版は、全断面有効の断面積及び断面二次モーメントを与える。

格子パネルを構成する水平材、鉛直材及び斜材に入力する断面積 A_x 、 A_y 及び A_d は、ウェブと格子パネルの変形適合条件から、次式によりそれぞれ求まる。

$$A_x = \left\{ 1 - \frac{G_c}{E_c} (\cot^2 \theta_x - \nu) \right\} \frac{A_0}{2} \quad \text{-----} \quad (3)$$

$$A_y = \frac{G_c}{E_c} \cdot \cot \theta_x \cdot \left(\frac{1}{\nu} - \tan^2 \theta_x \right) \cdot \frac{A_0}{2} \quad \text{-----} \quad (4)$$

$$A_d = \frac{G_c}{E_c} \cdot \sec \theta_x \cdot \operatorname{cosec}^2 \theta_x \cdot \frac{A_0}{2} \quad \text{-----} \quad (5)$$

ここに、 θ_x は斜材と X 軸(橋軸方向)とのなす角度、 A_0 はパネルで構成する部分のウェブ断面積である。

なお、格子パネルの水平材には、ウェブの曲げ抵抗を考慮してウェブの断面二次モーメントを付加する。

3. 解析及び検証結果

支間長 $L=50\text{m}$ の PC 単純箱桁橋を対象に、本手法の妥当性を検証した。検証用解析には、従来設計法(棒モデル)と全体系弾性 FEM(ソリッド要素)を用いた。

(1) 鉛直作用に対する断面力 図-5 は、鉛直集中荷重を対称 2 点に載荷した結果であり、せん断力と曲げモーメントは要素種別毎に集計して累積表示している。図中青色で示す線要素の断面力負担分から、ウェブ斜材は曲げ抵抗には寄与せず、せん断抵抗部材として機能することがわかる。また、同図には破線で従来設計法による結果も併せて示しており、両者が一致することから、従来設計法と同等の精度であることもわかる。更に、せん断力図からは、床版(はり要素)と斜材(線要素)の負担分を直接的に評価できることがわかる。

(2) 水平作用に対する断面力 図-6 は、プレストレス力載荷時の結果であり、鉛直作用と同様に、水平作用に対してもウェブ斜材はせん断抵抗部材として機能し、かつ本手法により算出した断面力は従来設計法と同値となることや、はり要素と線要素のせん断力負担分を直接的に評価できることもわかる。

(3) コンクリートの上・下縁応力度 図-7 は、自重作用下のコンクリート上・下縁応力度の分布を示したもので、本手法(●と▲印)と全体系弾性 FEM 解析(実線と破線)による結果はほぼ一致することがわかる。

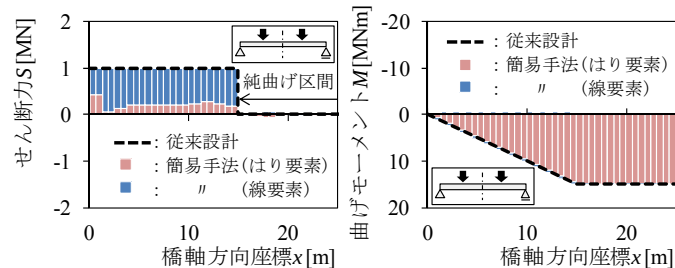


図-5 鉛直作用時の断面力分布(図示範囲：0.5L)

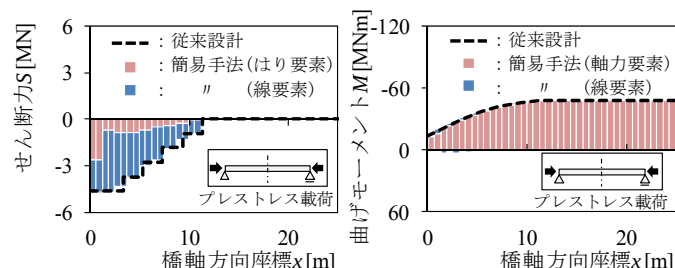


図-6 水平作用時の断面力分布(図示範囲：0.5L)

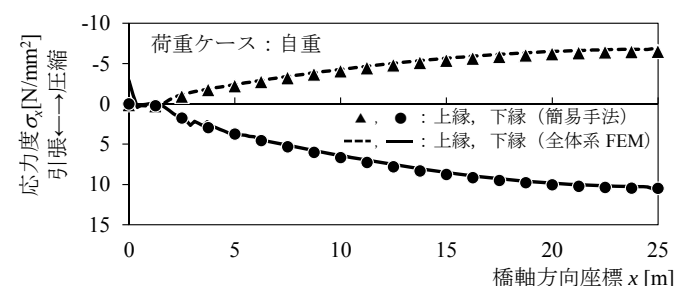


図-7 上・下縁応力度分布(図示範囲：0.5L)

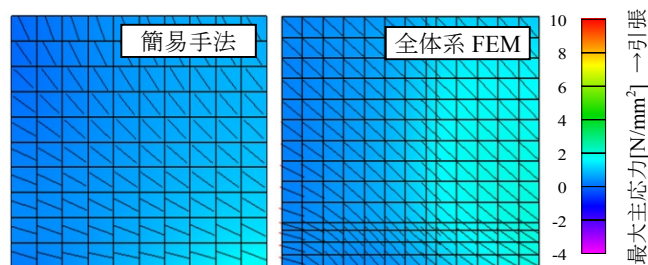


図-8 支点上付近の自重作用下の最大主応力分布

(4) ウェブの斜引張応力度 図-8(左)は、支点付近のウェブにおいて、部分 FEM 解析で求めた最大主応力分布を示しており、簡易手法でも右に示す全体系 FEM 解析と定性的に同じ結果が得られることがわかる。

4. むすび

PC 箱桁橋を対象に検討した簡易設計手法は、①使用限界における解析解が従来設計法と整合し；②各部材の力の伝達機構が明確化されること；③プレストレス等の水平方向作用に対する応答値が全体系 FEM 解析結果と整合すること；④ウェブの応力性状を本手法により簡素に求めることができ、かつ一定の精度で評価可能であることから、架設時応力を含めた使用限界での PC 橋の評価手法の一つになり得ると考えられる。