

## 材料非線形性を考慮した急曲線合成床版トラス橋の解析的検討

鉄道総研 正会員 吉田直人 谷口 望  
 JR 東日本 正会員 柳沼謙一  
 復建エンジニアリング 正会員 ○ 荒木一徳 江口 聡

## 1. はじめに

合成床版を使用した下路トラス橋の3次元FEM解析においては、床版のモデル化の差異が計算結果に大きく影響する。また、耐久性の観点などから、床版に生じるひび割れを解析的に評価する場合、床版を適切にモデル化する必要があると言える<sup>1)</sup>。一方、急曲線の橋梁に対しては、この床版のモデル化を精緻に行った解析事例は少ない。このため本研究では、材料非線形性を考慮した3次元FEM解析を行うことにより、コンクリートひび割れ以後の構造物の挙動を分析し、急曲線橋梁における床版のひび割れ挙動について検討を行う。

## 2. 解析概要

鉄道用2径間連続単線下路トラス橋を対象とした。床組には、図1に示すように型枠兼用の底鋼板と横桁を、床版コンクリートと一体化させた合成床版を採用している<sup>2)</sup>。

コンクリートの応力、ひずみを詳細に解析する必要があったため、解析モデルは立体骨組をベースに、合成床版を構成する底鋼板をシェル要素で、RC床版をソリッド要素で、横桁を梁要素として、橋りょう全体モデルを構築した。モデル規模は、要素数が約11万、節点数9万である。

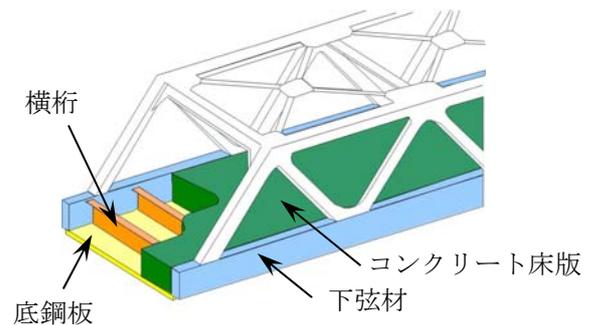


図1 SRC合成床版トラス

## 3. 解析条件

## 3.1 基本条件

構造物支間  $80\text{m} + 80\text{m} = 160\text{m}$ 、主構高  $10\text{m}$ 、主構間隔  $5.9\text{m}$  とし、平面曲線半径は  $R = 160\text{m}$  および  $R = \infty$  (直線) の2種類とした。材料定数は、鋼材のヤング係数  $200\text{kN/mm}^2$ 、ポアソン比  $0.3$ 、単位重量  $77\text{kN/m}^3$  とし、コンクリートはヤング係数  $25\text{kN/mm}^2$ 、ポアソン比  $0.16$ 、単位重量  $24.5\text{kN/m}^3$  を用いた。

なおトラスの部材断面は、死荷重+活荷重作用時の最大発生断面力に対して設定した。

## 3.2 荷重条件

解析に用いる荷重は、1径間のみに等分布荷重をレール位置に載荷した。解析手法は弧長増分法とし、コンクリートの最大引張ひずみが  $305\mu$  (ひび割れ幅が約  $0.2\text{mm}$  と想定される時) となるまで、荷重を増加させた。

3.2 コンクリートの材料構成則<sup>3)</sup>

コンクリートの材料構成則は、鋼繊維混入率  $1.0\%$ 、鉄筋比  $1.0\%$  を想定し、図3と次式で表される曲線で設定した。

$$\sigma_{t2} = f'_{tk} + \{f'_{tk} (a/0.0002)^b - f'_{tk}\} / (0.0002 - \epsilon) \times (\epsilon_t - \epsilon)$$

$$\sigma_{t3} = f'_{tk} (a/0.0002)^b \quad \text{ただし、} a = 0.0004, b = 0.17$$

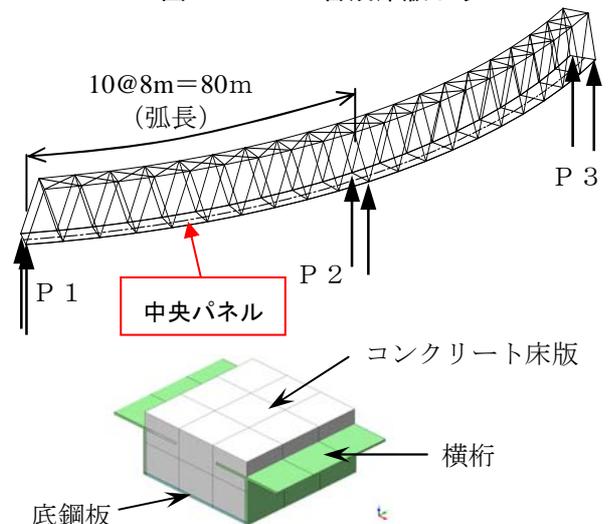


図2 解析モデル

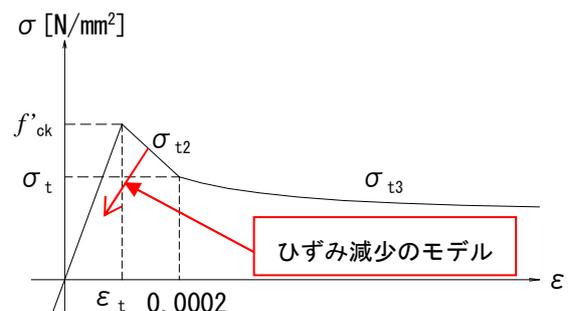


図3 コンクリートの材料構成則

キーワード 低床式トラス、急曲線、床組、材料非線形、ソリッド要素、FEM解析

連絡先 〒103-0012 東京都中央区日本橋堀留町1-11-12 復建エンジニアリング TEL 03-5652-8563

### 3. 3 境界条件および材端条件

並進方向は端支点P1, P3が橋軸方向に可動, 中間支点P2は固定とし, 回転自由度は全支点においてフリーとした. また, 梁要素材端条件は全部材を剛結合とした. 床組については, 隣接する異種要素同士はすべて剛体連結とし, コンクリート床版, 底鋼板, 横桁を一体化させた.

### 4. 解析結果

最大応力が発生する, 支間中央の格点間床組(以下, パネル)に着目し, ひび割れ状況について整理を行った. 図4, 5には, 支間中央パネルのひび割れ状況図を示す. なお, 表示しているひずみは, 最大ひずみの値である.

#### 4. 1 ひび割れ発生箇所

直線橋では, パネル最大ひずみ  $75\mu$  付近において, パネルの四隅, すなわち格点部近傍からひび割れが発生し, 曲線半径  $160\text{m}$  の曲線橋では, 同じく  $75\mu$  付近でひび割れが発生したが, 発生位置は, 内主構の格点部近傍のみであった. 以上よりひび割れ発生ひずみは直線橋, 曲線橋ともに  $75\mu$  付近であるが, 発生箇所は異なる結果となった.

#### 4. 2 塑性化状況

直線橋では, コンクリート要素の塑性化はパネル中央に向かって進展していった. 最大ひずみが  $100\mu$  を超える領域においては, パネル内でひずみが先行して進行する要素に隣接する要素において, ひずみの減少する方向に推移した(図3). このひずみが減少する要素は, 横桁に隣接するコンクリート要素となっており, 応力の再配分が生じたと考えられる.

一方, 曲線橋( $R=160\text{m}$ )では, パネルの内主構下弦材に沿ってひび割れが進展した. その後, 最大ひずみ  $100\mu$  程度ではコンクリート要素の塑性化は外主構側へ進展し,  $100\mu$  を超えた以降は, 横桁に隣接した内主構側のコンクリート要素においては, ひずみが減少した.

### 5. まとめ

- (1) 本解析結果より, 直線橋と急曲線橋では, ひび割れの発生箇所に差が生じた. また, ひび割れが進展すると, 局部的にひずみが減少する挙動が見られたが, このひずみ減少を生じる箇所も直線橋と急曲線橋で差が見られた.
- (2) 合成床版下路トラス橋の床版のひび割れを3次元FEM解析で評価する場合, 床版の材料非線形性を考慮する必要がある. その挙動は直線橋と急曲線橋で異なるため, 適切にモデル化を行う必要があると言える.

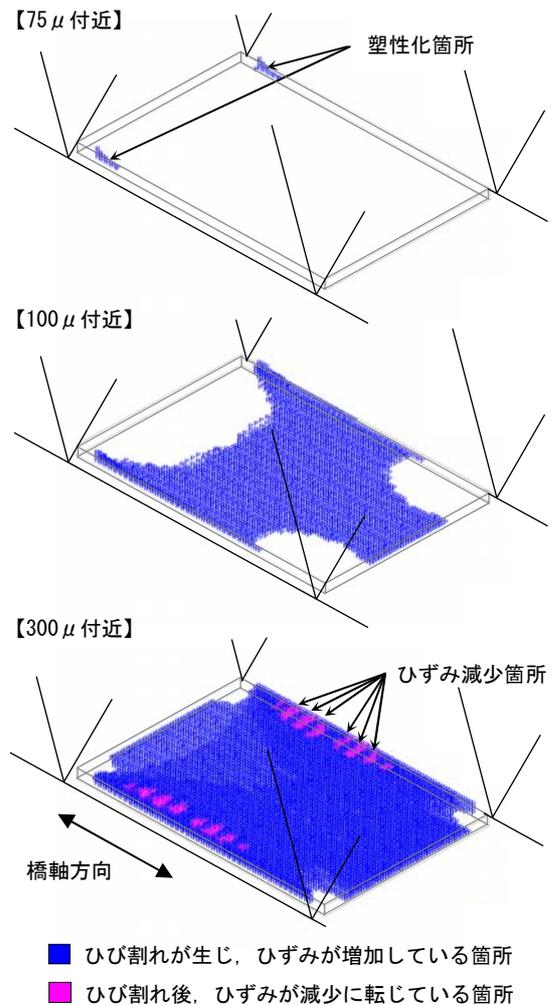


図4 支間中央パネルひび割れ状況(直線)

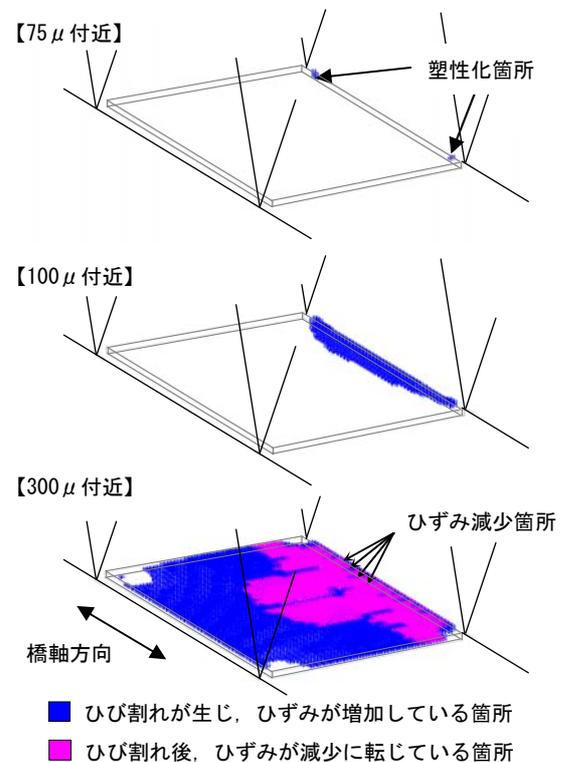


図5 支間中央パネルひび割れ状況( $R=160\text{m}$ )

参考文献1) 江口他: 鉄道を想定した長スパンの急曲線低床式下路トラスに対する解析的検討, 年次講演会, 土木学会, 2011

2) 谷口他: 鉄道下路桁用合成床版の開発に関する基礎実験, 構造工学論文集 Vol. 53A, 土木学会, 2007

3) 内田他: 鋼繊維補強コンクリートの曲げ破壊性状と引張軟化曲線, 土木学会論文集 No. 460/V-18, 1993.