

連続合成桁の中間支点部(負曲げ区間)の剛性評価に関する検討

由井技術士事務所 フェロー ○由井 洋三  
 川田テクノシステム(株) 趙 清  
 (株)東京鐵骨橋梁 正会員 大柳 英之  
 JIPテクノサイエンス(株) 正会員 津久井 友

新日本技研(株) 正会員 徳力 健  
 前橋工科大学 正会員 谷口 望  
 立命館大学 正会員 野阪 克義  
 中日本ハウエイ・エンジニアリング名古屋(株) 正会員 橋 吉宏

1. はじめに

鋼連続合成桁の中間支点部における負曲げ区間の設計法では、床版コンクリート剛性の扱いに種々の考え方があがる。たとえば、活荷重時の構造解析において、0.15L 区間を床版のひび割れ区間と仮定するなどの考え方があがる。これらの設計計算に用いる解析法として、骨組解析が一般的に用いられるが、3次元方向の実挙動が反映されにくい等の課題があがる。ここでは、鋼橋を構成する主な構造部材を高い精度でモデル化したFEM解析を実施し、FEM解析による断面応力と骨組解析による断面応力の比較を行うことで、骨組解析の適用性についての検討を行う。

2. 橋梁概要

対象橋梁は、参考文献1)の設計例の諸元とした。  
 構造形式：鋼3径間連続合成桁橋(支間割=50+50+50m)  
 主桁：2主I断面桁(桁高：2950mm, フランジ幅：750~800mm)  
 床版：PRC床版(有効幅員：9500mm, 鉄筋配置：図3参照)



図1 橋梁側面図

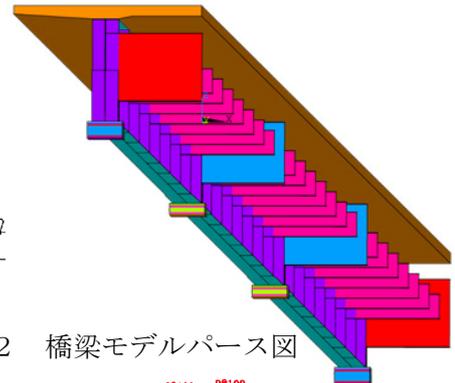


図2 橋梁モデルパース図

3. 解析概要

解析方法：対称性を利用し、全体の1/2を解析モデルとする3次元FEM弾性応力解析。  
 解析ソフト：ANSYS ver.14.5  
 使用する要素：主桁、横桁、垂直補剛材等をシェル要素、床版コンクリートをソリッド要素、主鉄筋、配力鉄筋をビーム要素

モデル規模：65万節点、59万要素  
 中間支点部の縦・横メッシュサイズ：100mm×100mm  
 PRC床版：8層に分割、高さ40mmメッシュ程度、RCでモデル化  
 境界条件：幅員中心面に対称条件を設定  
 荷重条件：活荷重時(ケース2:道示12.3.2の降伏に対する照査)

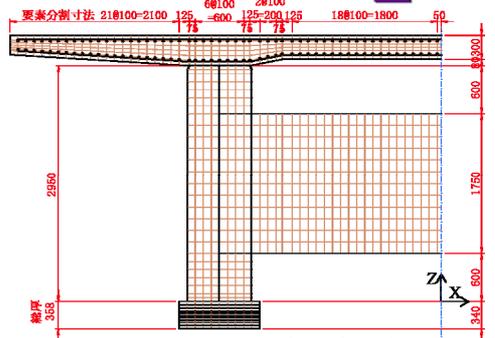


図3 断面図(要素分割図)

ケース1:負曲げ最大「活荷重+衝撃」×1倍  
 ケース2:活荷重2倍「活荷重+衝撃」×2倍

表1 骨組解析とFEM解析の対応のイメージ

4. 骨組解析とFEM解析の解析条件

中間支点上の剛性モデルとして表1を設定。

項目	骨組解析		FEM解析	
	断面力計算(骨組解析)	中間支点部断面応力照査	モデル1 全支間「鋼桁+床版」 とするモデル(全幅考慮)	モデル3:繰返し解析 FEM3
モデル1 全支間 「鋼桁+床版」 とする モデル	剛性値のイメージ 床版全幅考慮 骨組1 現行設計(道示) 床版有効幅考慮	全幅 有効幅 「鋼桁+床版」	イメージ図 側面図 モデル2 中間支点部「鋼桁+鉄筋」 負曲げ区間0.15Lと設定 FEM2	繰返し解析 繰返し計算(繰返し解析)により中間支点部のコンクリート応力が2.69以上の箇所のコンクリート応力を0とする解析 ①全断面有効の状態(1回目の解析) ②1回目の解析で引張コンクリート( $\sigma_t \geq 2.69$ )となった箇所の応力を0とした状態 繰返し計算 コンクリートの応力-歪み曲線 合成床版のガイドラインのコンクリートの応力-歪み曲線を採用。本解析では、コンクリートの応力が2.69を越えた要素の応力を0となるようにして繰返し計算を行う。 2回目以降の解析において、コンクリートの応力が2.69を越えた箇所の要素の橋軸方向のヤング係数のみを1/1000倍し、橋軸方向の応力をほぼ0となるようにする。この解析を数回繰返しすることにより、要素の応力が2.69を越える箇所がなくなった状態を最終状態(収束状態)とする。
モデル2 中間支点部 「鋼桁+鉄筋」 負曲げ区間 0.15Lと設定	0.15L, 0.15L, 0.15L, 0.15L 床版全幅考慮 骨組2 現行設計 有効幅 床版有効幅考慮	全幅 有効幅 「鋼桁+鉄筋」	イメージ図 側面図	

キーワード：鋼連続合成桁、負曲げ区間、床版コンクリートの剛性、FEM解析、骨組解析  
 連絡先 由井技術士事務所(〒182-0024 東京都調布市布田5-21-4 TEL 042-481-4604)

### 5. 荷重ケース(活荷重+衝撃)の解析結果

図4に主桁、床版、鉄筋の橋軸方向応力の分布図を示す。モデル1(全支間「鋼桁+床版」モデル, 赤線)とモデル3(繰返し解析, 緑線)の応力は、ほぼ一致している。これは、床版コンクリートの応力が引張強度  $2.69\text{N/mm}^2$  以下であり、ひび割れによる剛性低下の少ない応力レベルのためである。また、FEM骨組解析(実線)と骨組解析(破線)の結果もほぼ一致している。

中間支点直上の一部では床版コンクリートが引張強度を超えるためにFEM3の床版上面応力が低下し、鉄筋応力が増加しており、妥当な挙動を示している。

### 6. 荷重ケース(「活荷重+衝撃」の2倍)の解析結果

図5に主桁、床版、鉄筋の橋軸方向応力の分布図を示す。モデル2(0.15L区間「鋼桁+鉄筋」モデル, 青線)とモデル3(繰返し解析, 緑線)の応力は、ほぼ一致している。これは、中間支点部近傍の床版コンクリートの応力が引張強度  $2.69\text{N/mm}^2$  を超過するため、ひび割れによる剛性低下を生ずる応力レベルのためである。

中間支点部近傍では床版コンクリートが引張強度を超えるためにFEM3の床版上下面応力が低下し、鉄筋応力が増加しており、妥当な挙動を示している。

モデル1(赤線)の応力は、床版の剛性を考慮しているために、モデル2、3と異なる応力分布を示している。

### 7. 解析結果の考察

骨組解析による断面応力とFEM解析による応力の比較結果を以下に示す。

- 1) 骨組解析とFEM解析の主桁応力および床版上面応力は、ほぼ一致していることを確認できた。また、骨組解析の結果は、ピン支点とするためにFEM解析結果より大きめの応力となるが、現行設計で用いられる骨組解析による断面応力は、妥当といえる。
- 2) モデル3の解析結果は、床版応力が小である「(活荷重+衝撃) $\times 1$ 倍」の場合には、モデル1の結果に近く、床版応力が大である「(活荷重+衝撃) $\times 2$ 倍」の場合には、モデル2の結果に近く、良い傾向となっている。なお、コンクリートの応力が0となる区間長は、中間支点より側径間側で0.11L、中間支間側で0.13Lであり、0.15Lの設定は妥当であるといえる。
- 3) 繰返し解析(モデル3)の考え方は、コンクリートの引張軟化部分の応力を0とするものであり、引張軟化を考慮する場合と比較すると応力は、厳しくなるものがあるが、モデル1とモデル2で行う骨組解析を補完する解析としては、十分に参考になると考えられる。

### 8. まとめ

- 1) FEM解析と骨組解析による断面応力は、ほぼ一致し、応力に関しては、骨組解析の妥当性を確認できた。
- 2) 繰返し解析モデルにより、ひび割れ考慮区間として0.15Lの妥当性を確認できた。

本報告は、鋼構造委員会「鋼橋の合理的な構造設計法に関する調査研究小委員会」(委員長:野上邦栄)の成果の一部である。

### 参考文献

- 1) (社)日本橋梁建設協会:連続合成2主桁橋の設計例と解説,平成17年8月

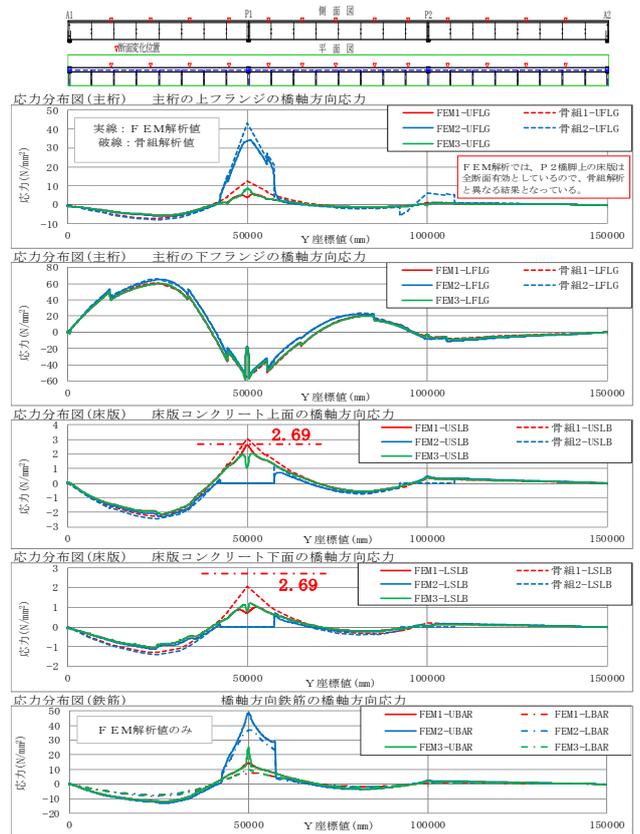


図4 荷重ケース(活荷重+衝撃)の解析結果

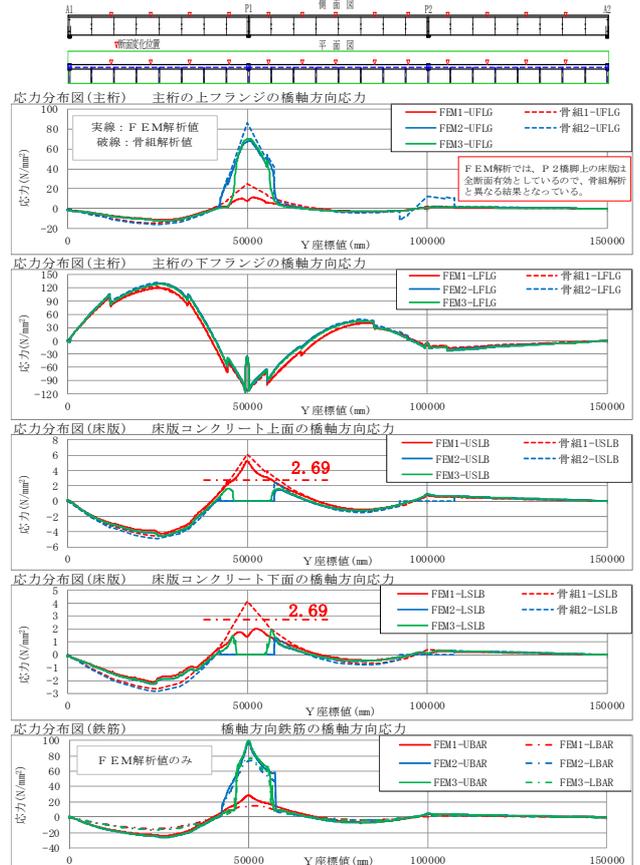


図5 荷重ケース(活荷重+衝撃) $\times 2$ 倍の解析結果