

I 桁と箱桁を併用した鋼連続桁橋（２）－接合部の構造解析と設計－

開発技建株式会社 正会員 〇品田 雅人
開発技建株式会社 正会員 近藤 治

開発技建株式会社 正会員 吉村 訓和
長岡技術科学大学名誉教授 正会員 長井 正嗣

1. はじめに

北陸自動車道跨道橋の上部工形式は、側径間を少数 I 桁橋とし、最大支間となる中央径間の北陸自動車道跨道部を細幅箱桁とした鋼 5 径間連続桁である。
本橋では、主桁断面が I 桁から箱桁へ変化するが、その接合部を支間部（曲げモーメントのインフレーションポイント）とした。しかし、支間の途中で剛な横梁等を介さずに、I 桁と箱桁を直接接合する構造事例はほとんどない。このため、本橋では格子解析で検証できない挙動等の把握を目的として、3 次元 FEM 解析により応力性状や局部応力を把握し、具体的な接合部の構造や細目を決定した。

2. 主桁断面変化部の構造

- 接合部の構造細目は、下記のとおりである（図-1）。
- (1) I 桁と箱桁の接合部（以下、接合部）は、ウェブが I 桁の 1 枚から箱桁の 2 枚へと変化する。
 - (2) I 桁と箱桁のウェブは、直接接合するのではなく、接合部ダイアフラムからそれぞれ 70～90cm 程度ラップする構造とした（1:10 程度）。
 - (3) 接合部のフランジ幅は、I 桁から箱桁へ緩やかに変化した。
 - (4) 箱桁のウェブが途切れる位置（ウェブ端部）には、応力集中の改善や応力伝達を円滑にするため、R=150mm のフィレットを設けた。

3. 接合部の課題

橋梁全体のモデル化に先立ち、接合部を取出したモデル

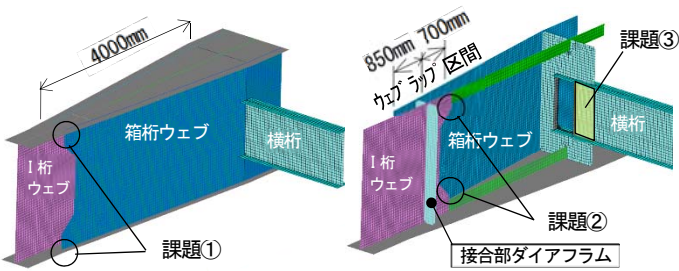


図-1 接合部の概要図と課題

で解析を実施し、接合部の構造について課題を抽出した。

- ①ウェブ端部でのフランジとの交点に発生する応力集中
- ②I 桁のウェブが箱桁の縦リブに接続する位置に発生する応力集中
- ③箱桁部（横桁位置）ダイアフラムに発生する応力集中
- ④接合部の床版に発生する応力

4. 解析方法

橋梁全体解析モデルは、接合部周辺の鋼部材をシェル要素、床版をソリッド要素、接合部周辺以外の鋼部材をバー要素により、橋梁全体を構築した（図-2 参照）。

断面諸元は、別途実施した格子解析で決定した値と同様とし、解析に用いた材料特性を表-1 に示す。FEM 解析には、汎用ソフト midas FEA を使用した。

本橋の床版には、鋼コンクリート合成床版を採用している。解析では、底鋼板と側鋼板をシェル要素、床版コンクリートをソリッド要素でモデル化しているが、解析の簡略化のため床版コンクリートと鋼部材の接触面は節点を共有した剛結合とし、スタッドやリブプレート等のずれ止めおよび鉄筋はモデル化しないこととした。

荷重は、格子解析において G1 桁の接合部が正曲げ、負曲げ、せん断、ねじりのそれぞれが最大となる載荷状態を FEM で再現した。拘束条件は、支点上をピン結合とした。

接合部の構造の安全性は、前項①～④の課題について各箇所での発生応力と許容値を比較することで評価した。

なお、本橋は非合成桁で設計しているため、主桁の発生応力を確認する場合には、床版をモデル化しないこととした。

表-1 材料特性

	鋼部材	床版
ヤング係数(N/mm ²)	2.0×10 ⁵	2.8×10 ⁴
ポアソン比	0.3	0.2
単位体積重量(N/mm ³)	7.7×10 ⁻⁵	2.75×10 ⁻⁵

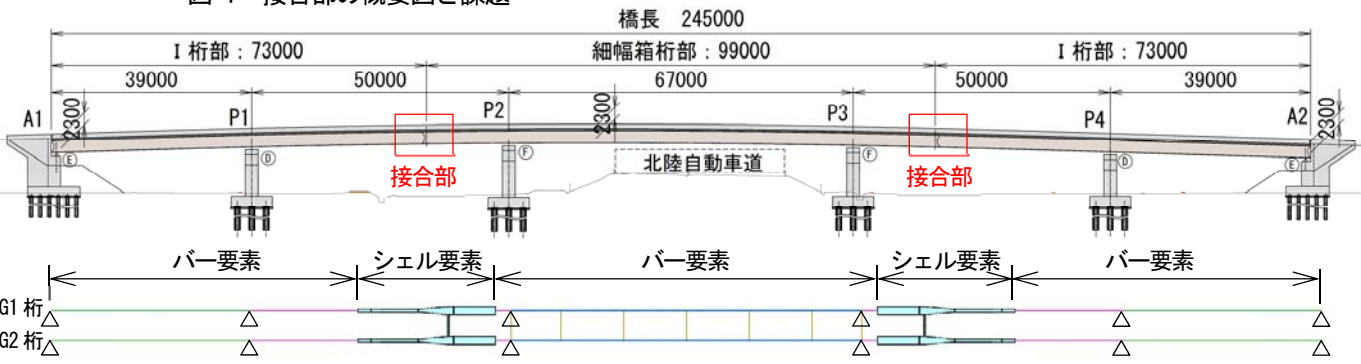


図-2 橋梁側面図および解析モデル全体図（床版非表示）

キーワード 合理化橋梁, I 桁と箱桁の接合構造, I 桁, 細幅箱桁, 3 次元 FEM 解析
連絡先 住所 新潟県新潟市中央区紫竹山 7-13-16 開発技建株式会社 TEL 025-245-7131

5. 解析結果

3. 接合部の課題に対する解析結果は、紙面の都合上、主要な応力値のみを下記に示す。なお、本解析での局部応力に対する許容値は、表-2のように設定したり。

①箱桁ウェブ端部とフランジの交点に発生する応力集中

$$\sigma_{bw} = 150\text{N/mm}^2 \leq \sigma_{pa} = 231\text{N/mm}^2 \text{ —————OK}$$

②I 桁ウェブと縦リブの接合部に発生する応力集中

$$\sigma_{iw} = 100\text{N/mm}^2 \leq \sigma_{pa} = 231\text{N/mm}^2 \text{ —————OK}$$

③箱桁部（横桁位置）ダイアフラムに発生する応力集中

ねじり最大の荷重ケースにおいて、横桁上下フランジに囲まれたダイアフラムのパネルには、許容値（154N/mm²）を超過する 243N/mm² の mises 応力が発生した（図-3 左）。また、ダイアフラム開口の隅角部（以下、隅角部）には 332N/mm²、横桁下フランジと開口部補剛材の交点には 477N/mm² の局部的な応力集中が発生した。

この発生応力を低減するため、横桁高をダイアフラム開口高に合わせて再度解析を実施した結果、ダイアフラムパネルの mises 応力は許容値（154N/mm²）以内となったが、隅角部の応力は改善されなかった（図-3 中央）。

隅角部の応力集中の対策として、ダイアフラムの板厚を当初の 2 倍の 18mm、隅角部の半径を R=150mm にして

表-2 FEM 解析の発生応力に対する許容値

	①, ② (SM490Y)	③ (SM400)
主応力 (局部応力)	231N/mm ² (1.1 × σ_a)	—
mises 応力 (ダイアフラムパネル)	—	154N/mm ² (1.1 × σ_a)
mises 応力 (ダイアフラム開口部)	—	245N/mm ² (σ_y)

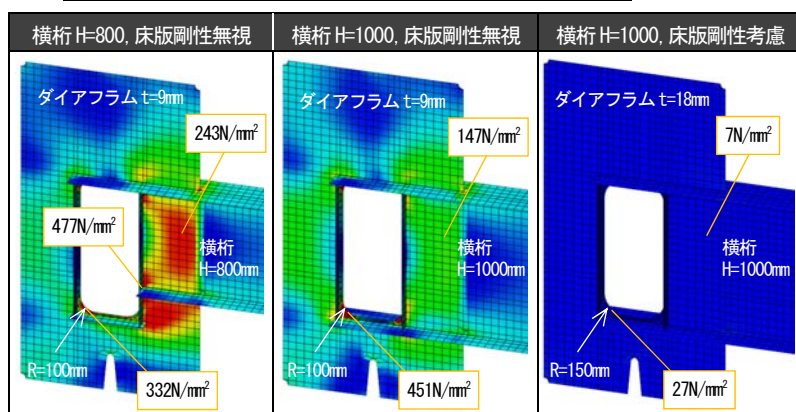


図-3 ダイアフラムの応力 (G1 桁のみ表示)

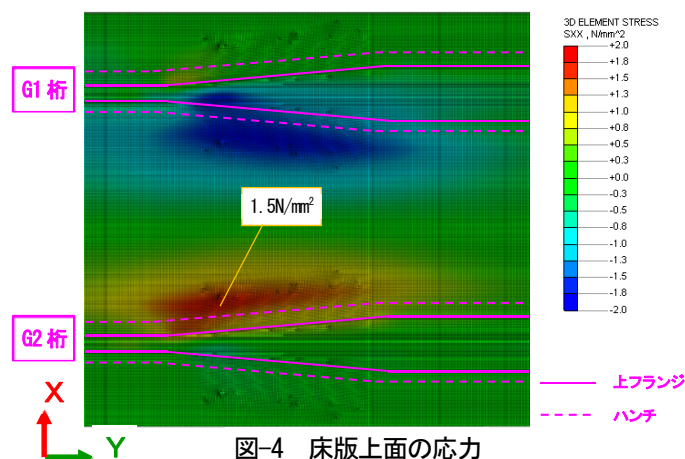


図-4 床版上面の応力

解析を実施した。その結果、mises 応力は半減（220N/mm²程度）し、許容値（245N/mm²）以内となった。

本橋は、設計上非合成桁としているが、実橋では床版コンクリートと主桁が合成効果を発揮し、合成桁に近い挙動を示すと考えられる。このため、床版剛性を考慮したモデルで解析を実施し、隅角部の mises 応力は床版剛性の寄与により大幅に低減されることを確認した。（図-3 右）。

④接合部の床版に発生する応力

1) 応力の評価

接合部の床版上面には、ねじり最大となる L 荷重の載荷ケースにおいて、フランジ幅変化部の内側で橋軸直角方向に 1.5N/mm² 程度の引張応力が発生した（図-4）。床版は、鉄筋等の鋼材をモデル化していないため、2)に示す L 荷重と T 荷重を組合わせた活荷重により発生する応力から算定した曲げモーメントと道路橋示方書の曲げモーメント算定式を比較する方法で床版の安全性を検証した。

2) 曲げモーメントによる評価

FEM 解析より算定した曲げモーメントは、「①L 荷重によって発生した床版曲げモーメント」と「②接合部に T 荷重を載荷したときの床版曲げモーメント」を足し合わせた（①+②）とし、道路橋示方書²⁾で算出した床版曲げモーメント以下となることを確認した（図-5）。したがって、接合部の床版は、道路橋示方書の曲げモーメントに対して配筋することで安全であると考えた。

6. おわりに

本稿では、曲げモーメントのインフレクションポイントで I 桁から箱桁へ接合した橋梁について、FEM 解析により細部構造の応力性状について検討を行った。

跨線橋、跨道橋等は桁高制限や最大支間長の関係より橋梁全体の形式が決定されている事例が多い。こうした橋梁は、異なる形式や断面を連続化することで耐震性、走行性等に優れた合理的な構造となる可能性がある。本論が、こうした橋梁の構造解析の参考になれば幸いです。

参考文献

- 1) 本州四国連絡橋公団：鋼上部構造の設計に FEM 解析を適用するためのガイドライン（案）, H5.9
- 2) （社）日本道路協会：道路橋示方書・同解説, H24.3

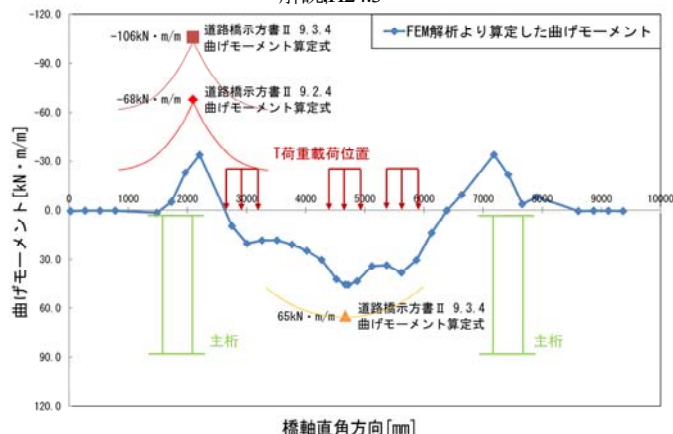


図-5 床版曲げモーメントの比較