

# 一定せん断流パネル要素を用いた 鋼道路橋の構造解析手法

水口知樹・横井芳輝・玉越隆史

## 1. はじめに

道路橋の鋼製の部材では、薄板を溶接などで複雑に組み合わせて形成されることから、部材にかかる力によって外板や補剛材などの各部位には非常に複雑な性状の応力が発生する。例えば既設橋で報告されている重大な損傷<sup>1)</sup>の中にも、局所的な応力集中など複雑な応力性状に起因すると疑われるものもみられる。このような部材の各部に生じる複雑な応力性状を精度よく考慮することは、これまで一般的に行われてきた、初等はり理論に基づく骨組解析とそれを前提とした許容応力度等の許容値との対比による設計体系だけでは対応が難しい面がある。

現在、これらの問題に対して実務設計においては、解析技術の発展とコンピューターの性能向上を背景に、対象を微小で単純な要素の集合体とみなして、各要素に分割して要素ごとの解析を行い、全体の挙動の近似値を求めるFEM解析が必要に応じて使われるようになってきている。

しかし、一般的な用いられるFEM解析では、モデル化の方法や計算応力の処理方法などに大きな自由度があり、同じ対象に対しても解析の仕方によっては計算結果に大きな違いを生じる可能性があること、連続体として方向や代表点がまちまちな計算応力を設計基準に示された部材単位の許容値と対比させる方法が確立していないこと、溶接部の凹凸や切り欠き、ボルト継手部の詳細構造などの実際の構造では避けられない複雑な細部構造の厳密なモデル化に限界があることなどから照査内容によっては効率性や経済性の面で合理的とまらないことも多い。

このような状況を踏まえて、国土技術政策総合研究所では、対象とする板部材をパネル分割し、それをせん断応力のみ抵抗する板要素に置き換え、はり要素と結合させるモデルを解析している

(以下、「一定せん断流パネル解析」という)。解析により、設計基準に規定された照査基準との対比が容易かつ一定の信頼性で行え、従来の骨組解析による部材単位の設計では精度の高い評価が困難である局所的な変形や応力性状の考慮も行える設計手法の検討を進めてきた<sup>2),3)</sup>。

これまでに、図-1のような鋼板が複雑に組み合わせられた鋼製橋脚の複雑な応力性状<sup>4)</sup>において、隅角部の断面形状、寸法、板組方法、板厚、フィレットの有無などの構造詳細の影響を反映し、発生応力を簡便かつ一定の精度で推定できる方法を提案している。

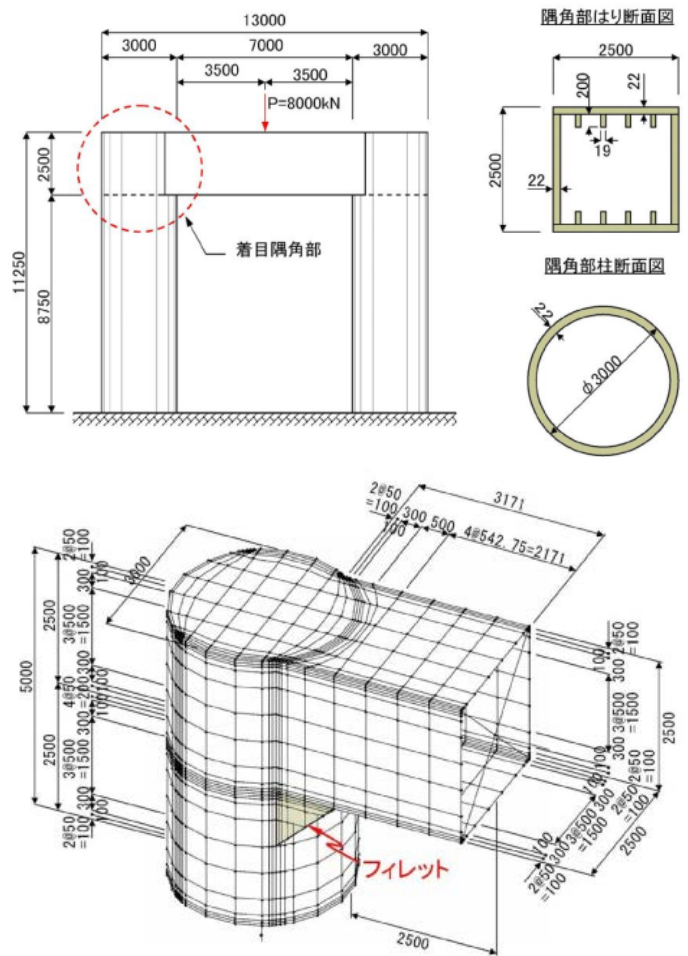


図-1 鋼製橋脚の一定せん断流パネル解析

現在、研究室で一定せん断流パネル解析による簡便かつ精度の高い照査手法の適用範囲を拡大するために、鋼製橋脚以外の鋼橋の様々な部材や部位を対象に、耐震設計や疲労設計に限らずできるだけ多くの照査に一定せん断流パネル解析を応用できる方法について検討を進めている。

本稿では、その一部を紹介する。

## 2. 鋼ニールセンローゼ橋の格点部の耐荷力評価

### 2.1 解析の目的と概要

複雑な板組形状を有する構造であり、地震により損傷を受けた一例として、図-2に示す鋼バスケットハンドル形式ニールセンローゼ橋のアーチリブと上支材間の格点部をとりあげる。複数の格点部のうち、図-2に示す箇所は損傷が大きいため着目部位とし、一定せん断流パネル解析を実施した。

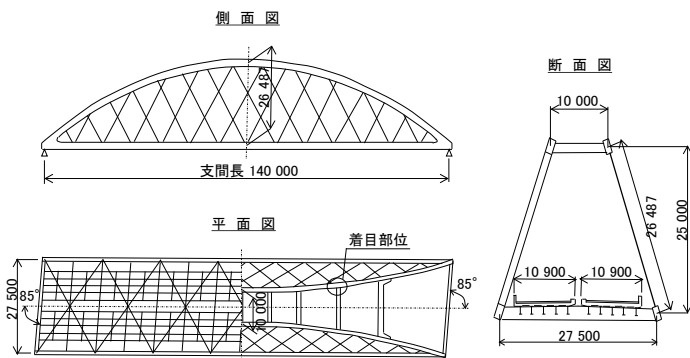


図-2 鋼ニールセンローゼ橋の着眼部位

本橋は図-3に示すように傾斜したアーチリブと上支材が相互に直交せず角度を持って接合しており、アーチリブの内側には上支材の控え材としてダイアフラムが設置されている。着目部格点部の内部では、製作上の作業スペースを確保するため、アーチリブ内部に上支材ウェブの控え材として配置されるダイアフラムの位置が、上支材ウェブから約140mmアーチリブ軸方向にずれた位置に配置されている。

当該部位の当初の設計は、棒モデルを用いた骨組解析結果を用いて各上支材とアーチリブの断面計算を行い、それぞれ単独で最適断面を算出した

が、板組形状まで考慮した複雑な応力が生じる部位の耐荷力評価を骨組解析によって行うには精度上の限界があり、新設橋の設計における図面作成前の段階にFEM解析による試行錯誤による構造細目の検討も実務では費用と時間の制約から難しいと考えられる。そこで、一定せん断流パネル解析の適用性に関する検討を行う。

### 2.2 解析方法と結果

図-3に、格点部の一定せん断流パネル解析によるモデル図を示す。着目部格点部との境界部は、断面を剛体として骨組軸線と結合し、アーチリブ、上支材、ダイアフラム、縦リブ、横リブについては一定せん断流パネル要素と縁部材を用いてモデル化する。要素は最も細かい箇所では50mm四方程度に細分化する。また上支材の支間中央側ウェブは、アーチリブダイアフラムと一致させずに約140mmずれた配置を反映する。

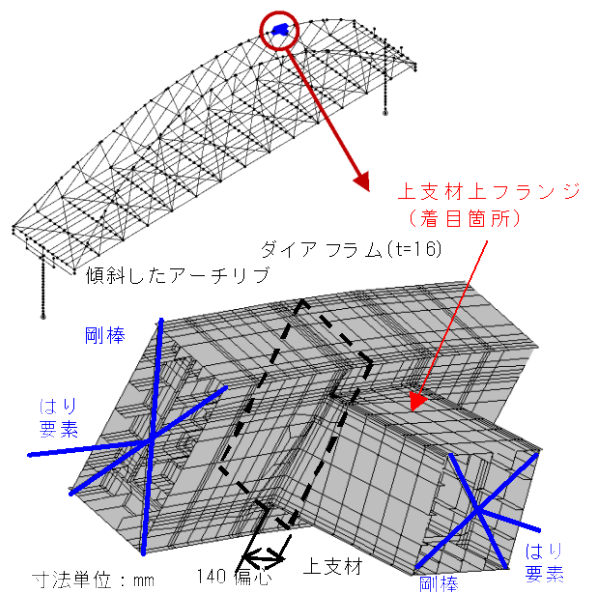


図-3 格点部の一定せん断流パネル解析モデル図

最も作用応力が大きく、かつ応力状態が複雑になると考えられるレベル2タイプII地震動を橋軸直角方向から載荷し、弾性範囲で時刻歴応答解析を行うと、解析結果では格点部における上支材上フランジの応力分布は一定ではなくウェブ近傍で作用応力が急激に大きくなるせん断遅れが生じており、ウェブ近傍ではSM490Yの基準降伏点355N/mm<sup>2</sup>を上回る作用応力1500N/mm<sup>2</sup>以上が生じた。

### 3. 鋼単弦ローゼ橋の吊材と鋼床版接合部の疲労耐久性評価

#### 3.1 解析の目的と概要

複雑な応力性状を受ける例の2橋目として、図-4に鋼単弦ローゼ橋を挙げる。

本橋の支間中央部の吊材と鋼床版との溶接部には疲労より亀裂が生じている。損傷を受けた複数の溶接部のうち、1箇所を着目部位とし、一定せん断流パネル解析を実施する。

複雑な応力性状を受ける部位の疲労耐久性については、着目する応力振幅によって溶接部の疲労等級が異なるものの、骨組解析によって全ての応力振幅に対する照査を行うには精度上の限界があると考えられる。またFEM解析を用いて、疲労設計荷重を影響線載荷し、作用する方向を考慮した応力振幅を抽出して行う疲労照査や、試行錯誤による構造細目の検討を実務で一般化して実行することも、耐荷力評価と同様に、実務では費用と時間の制約から難しいと考えられる。そこで、一定せん断流パネル解析の適用性に関する検討を行う。

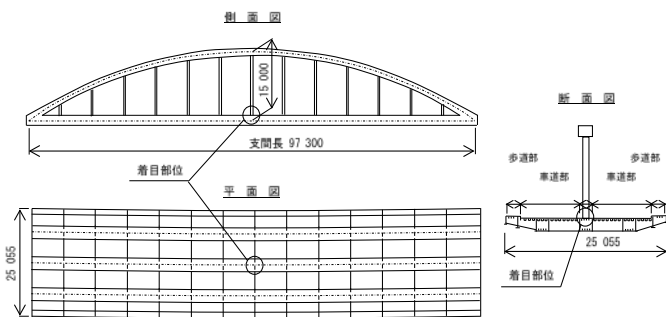


図-4 鋼単弦ローゼ橋の着目部位

#### 3.2 解析方法と結果

図-5に、吊材と鋼床版の接合部の一定せん断流パネル解析によるモデル図を示す。吊材、鋼床版のフランジ、ウェブ、縦リブ、横リブについて一定せん断流パネル要素と縁部材を用いてモデル化する。要素は最も細かい箇所吊材のフランジ幅400mmを4分割程度に細分化する。荷重条件は図-4に示す車道部に、疲労設計荷重を鋼床版上に載荷することとし、着目部位の応力振幅を算出する。

吊材下端の疲労照査を行うためには、軸力及び2軸曲げが生じる状態を考慮して応力振幅を評価

する必要があるが、図-5に示すように、一定せん断流パネルを用いて板組形状をモデル化すると、着目部位における複数の断面力の同時性を考慮した材片に生じる応力振幅は、材片をモデル化した縁要素の作用軸力から容易に算出することができる。

また、吊材は箱断面であるものの、上下端部の連結部でウェブが1面のH断面に断面変化している。このような構造細目も、はり要素の曲げ剛性などの構造パラメータに置換することなく、板組形状をそのまま一定せん断流パネルでモデル化することで、応力状態を精度良く評価できると考えられる。

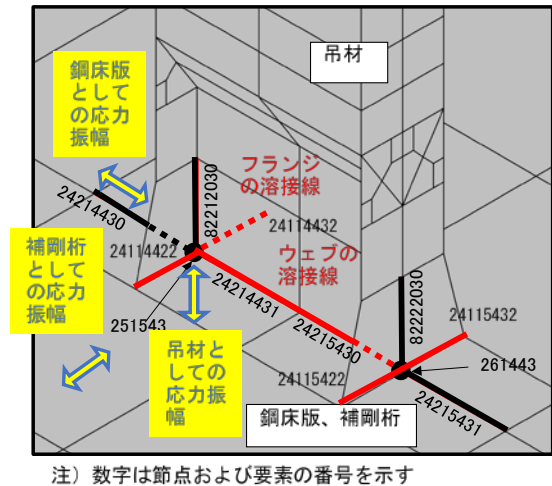


図-5 吊材下端部の一定せん断流パネル解析モデル図

一定せん断流パネル解析結果では、疲労設計荷重を鋼床版上に載荷させて鋼床版としての応力振幅も算出でき、構造が複雑な部位における溶接線ごとの、疲労設計荷重による方向別応力振幅を算出して疲労照査を行うことが可能であることがわかった。

### 4. 解析モデルの作成要領の検討

部材あるいは部位によって生じる応力性状を精度良く再現するために、解析モデルの作成要領の検討も行っている。例えば、主桁の挙動を原因として床版に生じる橋軸方向の応力を必要な精度で算出するため、橋のある断面に着目して必要な床版の要素分割数を検討した結果を図-6に示す。

桁橋の場合、合成桁の床版や鋼床版桁の鋼床版デッキではせん断遅れによって直応力分布が2次放物線のような複雑な分布となることが知られて

いるが、図-6に示すように床版縁（主桁直上を想定）と、直応力分布の変曲点である床版幅中央との間を2分割するだけで、概ねせん断遅れを正確に再現できていることがわかる。

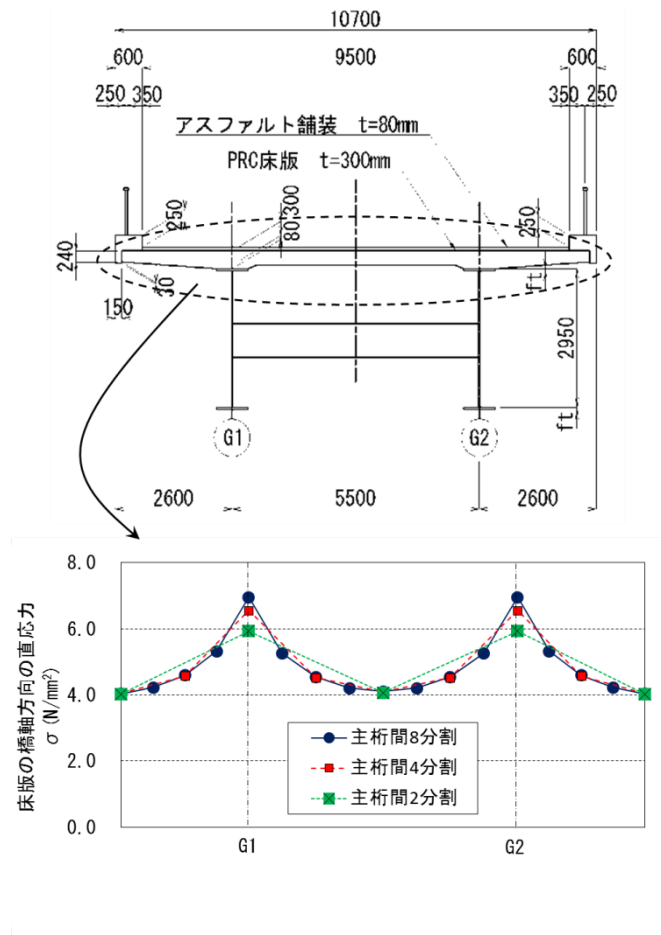


図-6 要素分割数を変化させた場合の床版の作用応力

## 5. まとめ

一定せん断流パネル解析を用いた鋼道路橋の構造解析手法への適用性について、複雑な板組形状を有する部位の耐荷力評価、あるいは大きな作用力を受ける部位の疲労耐久性評価に着目して行った研究の一部を紹介した。

これまでの検討により、一定せん断流パネル解析を鋼橋の設計の主体とすることで、局所的に複雑な応力性状となる部位に対して、公称応力で設計する部材と同様に、一定のルールに則って精度よく定量的な判断による設計が行える手法を確立できる可能性があることが確認できた。

今後は、より多様な条件の橋梁や部材に対しても普遍的に適用することのできるよう、解析手法の一般化、及び一定せん断流パネル解析モデルによる照査を実設計のプロセスの一部の基本メニューに加えることによる、概略設計段階から詳細設計完了までのプロセス全般の合理化策の検討を進めていく予定である。

## 参考文献

- 1) 玉越隆史：近年発生した橋梁の重大損傷の概要、道路、Vol.816、pp.28～32、2009.3
- 2) 玉越隆史、中洲啓太、石尾真理、木内耕治：道路橋の鋼製橋脚隅角部の疲労設計法に関する研究—一定せん断流パネルを用いた解析法の検討—、国土技術政策総合研究所資料、第296号、2006.1  
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0296.htm>
- 3) 玉越隆史、白戸真大、横井芳輝、水口知樹：鋼道路橋の合理的な設計解析手法に関する研究—一定せん断流パネルを主体とした鋼道路橋の設計手法—、国土技術政策総合研究所資料、第841号、2015.3  
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0841.htm>
- 4) 木内耕治、玉越隆史、石尾真理：鋼製橋脚隅角部における一定せん断流パネルを用いた解析法の検討、土木学会構造工学論文集、Vol.53A、2007.3
- 5) 中井博、北田俊行：鋼橋設計の基礎、共立出版株式会社、1992.5

水口知樹



(株)横河ブリッジ設計センター  
(前 国土交通省国土技術政策総合研究所道路構造物研究部橋梁研究室交流研究員)  
Toshiki MIZUGUHI

横井芳輝



本州四国連絡高速道路(株)鳴門管理センター(前 国土交通省国土技術政策総合研究所道路構造物研究部橋梁研究室研究員)  
Yoshiteru YOKOI

玉越隆史



国土交通省国土技術政策総合研究所道路構造物研究部橋梁研究室長  
Takashi TAMAKOSHI