

# バルブプレートを用いた圧縮補剛板の座屈に関する研究

鋼構造研究室 山田菜々美

指導教員 岩崎英治 教授

## 1. はじめに

橋梁に用いられる「補剛材」は、主桁の座屈を防ぎ、橋梁全体の剛性を高めるための部材である。補剛材としては、平リブプレート、トラフリブプレート、バルブプレートが一般的である。バルブプレートは、一端に丸みと厚みを持たせた4分音符（♩）に似た特徴的な断面形状を有している。

バルブプレートの主な特長として、以下が挙げられる。

- トラフリブのように内部点検が困難になるといった問題がない
- 平リブに比べ断面二次モーメントが大きく、座屈が生じにくい

一方で、バルブプレートは主に船舶の構造物や建築分野で用いられており、橋梁への適用例が少ないという課題もある。

バルブプレートは変形しにくい特性から応力低減に寄与するため、鋼床版の疲労対策として利用した研究事例は存在する。しかし、座屈防止機能を目的とした活用例はほとんどない。

箱桁橋では、上フランジで負曲げが生じ下フランジに圧縮応力が発生するほか、斜張橋では主塔付近で軸方向圧縮力が作用し、断面全体に圧縮応力が生じる。これらの圧縮応力による座屈への対抗手段として、本研究では、バルブプレートを補剛材として用いた場合の座屈防止機能に着目し、他の補剛リブとの比較を通じてその優位性を評価する。

## 2. 方法

本研究では、有限要素法（FEM）解析を中心に進める。初期不整や材料の塑性挙動を考慮した非線形弾塑性解析を実施する。弾塑性解析は計算負荷が大きいため、誤差蓄積の少ない増分法と反復法を併用した非線形解析手法を採用する。

解析には、精度とモデル化の簡素さの観点から4節点四辺形要素を使用する。

## 3. 解析モデル

解析モデルは、縦補剛材を有する無限連続圧縮補剛板を対象とする。このモデルは、箱桁断面柱などに用いられる補剛板の強度特性を評価することを目的としている。部材のX軸方向に強制変位を与えて圧縮応力を付加し、座屈挙動を解析する。解析モデル例を図-1に示す。

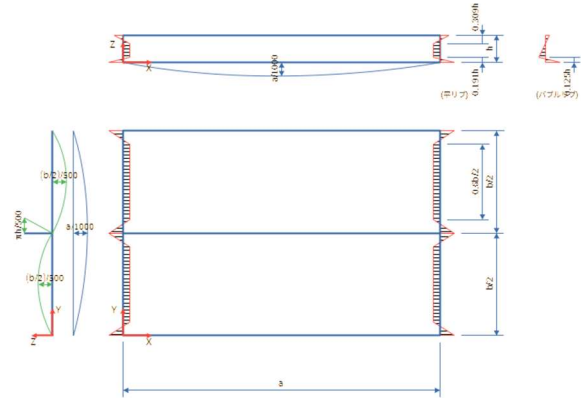


図-1 圧縮補剛板の解析モデル例

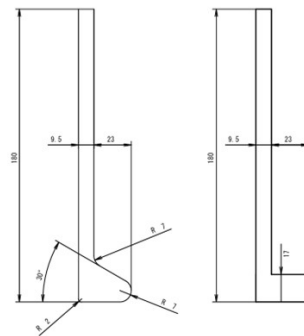


図-2 バルブプレートの断面図（左）と簡素化した断面図（右）

モデル諸元の決定にあたっては、道路橋示方書Ⅱ 鋼橋・鋼部材編<sup>1)</sup>に示される「軸方向圧縮力を受ける補剛板」の設計条件を参照し、実橋梁に用いられる補剛板寸法の範囲内となるよう配慮した。主な検討パラメータは、幅方向パネル数、補剛材形式、板厚および補剛板幅である。幅方向パネル数は2～5の4パターンとし、多リブ化による座屈挙動の変化を確認できる構成とした。それぞれに対して幅厚比パラメータが実用範囲を含むよう補剛板幅を決定した。

補剛材形式については、平リブ補剛板をAタイプ、バルブプレート補剛板をBタイプとして設定し、同一の板厚および補剛板幅条件下で両者を比較した。なお、一部の平リブケースでは必要剛比を満足しない条件が含まれるが、今回の研究の目的は両補剛形式の座屈能力の比較であるため、これらのケースも解析対象に含めた。析の簡略化を目的として、まず断面を複数の矩形断面からなる合成断面として近似し、断面積および断面二次モーメントを算定した。その結果、リブ先端部の重心位置の偏心は極めて微小であることが確認された。そこで、本解析ではこの偏心を

無視できるものと判断し、断面特性が等価となる T 字形断面としてモデル化した。

さらに、座屈耐力に大きな影響を及ぼす初期不整を考慮するため、線形座屈解析により得られた固有座屈モードを用いて初期たわみおよび残留応力を付与した。初期たわみ形状は、全体座屈モードおよび局部座屈モードを重ね合わせたものとした。

ここで、縦補剛材を有する圧縮補剛板における初期たわみの向きについては、既往研究において頻度分布が整理されており、補剛材側（正側）および板パネル側（負側）のいずれの方向にも初期たわみが発生することが確認されている。<sup>2)</sup>すなわち、初期たわみの符号には偏りがなく、実構造物では両者が一定の確率で存在する。

このため、本研究では、全体座屈モードの符号が正となる場合と負となる場合の双方を解析対象とし、初期たわみの向きの違いが座屈挙動および座屈耐力に及ぼす影響を評価した。

全体座屈モードが正の場合には、補剛材が引張状態となり、補剛材周辺の圧縮応力が相対的に緩和される。一方、負の場合には補剛材が圧縮状態となり、補剛材自身の断面性能や形状が座屈耐力に強く影響する。このように、初期たわみの符号は補剛材の応力状態を大きく左右するため、頻度分布を踏まえて両条件を考慮することが不可欠である。

#### 4. 解析結果

荷重-変位曲線の比較より、幅方向パネル数が少なく全体座屈モードが正となる場合には、バルブプレート補剛板は平リブ補剛板に対して明確な優位性を示さず、最大耐荷力の差は数%程度にとどまるか、条件によっては平リブ補剛板の方がわずかに高い耐荷力を示す場合も確認された。

一方、補剛板幅が比較的大きく、かつ平リブ補剛板における縦方向補剛材の剛比  $\gamma_l/\gamma_l \cdot req$  が 1.0 付近となる条件では、バルブプレート補剛板の耐荷力が顕著に上昇し、平リブ補剛板に対しておおよそ 10~25%程度高い値を示した。(図-3)この条件では、補剛材剛性が座屈耐力を左右する臨界的な状態にあり、断面性能の差が座屈挙動および最大耐荷力に大きく影響したことが示された。

また、全体座屈モードの符号による違いも確認された。ほとんどの解析条件において、全体座屈モードが負の場合、平リブ補剛板の耐荷力は正の場合と比較して低下する傾向を示したのに対し、バルブプレート補剛板では符号に依存せず概ね同等の耐荷力を示した。その結果、全体座屈モードが負側となる条件では、バルブプレート補剛板が平リブ補剛板よりも高い耐荷力を示す傾向が明確となった。

パネル数ごとの座屈耐荷力曲線の比較では、全体座屈モード (+) 条件においては、平リブ補剛板とバルブプレート補剛板の耐荷力に大きな差は認められず、両者は概ね同程度の値を示した (図-4)。一方、全体座屈モード (-) 条件では、すべてのパネル数においてバルブプレート補剛板が平リブ補剛板よりも高い座屈耐荷力を示した (図-5)。特に  $R_R \approx 0.6 \sim 1.0$  の範囲において差が顕著であった。

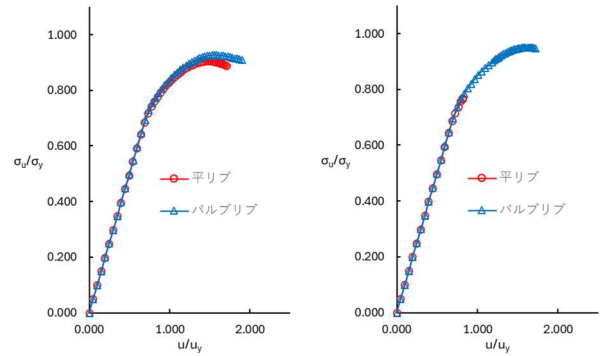


図-3 荷重-変位曲線 (左: 全体座屈+ 右: 全体座屈-)

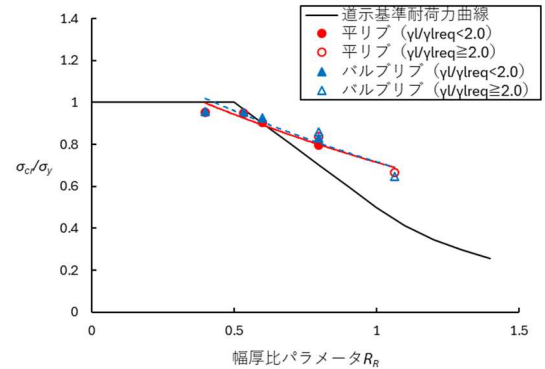


図-4 パネル数 n=4 の座屈耐荷力曲線 (全体座屈: +)

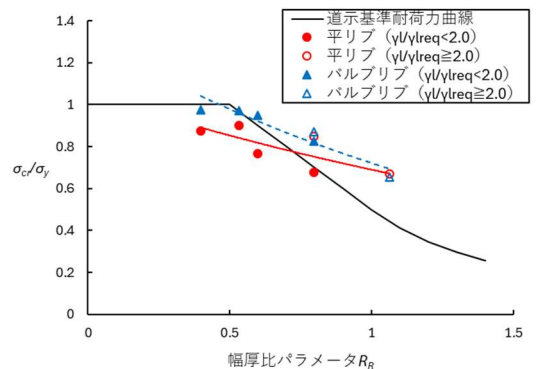


図-5 パネル数 n=4 の座屈耐荷力曲線 (全体座屈: -)

さらに、パネル数  $n$  が増加するにつれて座屈耐荷力は全体的にやや低下する傾向が確認されたが、全体座屈モード (-) 条件下では、パネル数が増加した場合においてもバルブプレート補剛板の優位性は維持された。

以上より、補剛材剛比および座屈モードの組合せに応じて、バルブプレート補剛板と平リブ補剛板の耐荷力差が変化することが確認された。

#### 5. 結論

本研究は、圧縮補剛板におけるバルブプレート補剛の座屈挙動と耐荷力を数値解析により評価し、平リブ補剛との比較から、補剛材剛比が必要剛比に近い条件や補剛材が圧縮状態となる条件下で高い有効性を示すことを明らかにした。

#### 参考文献

- 1) 日本道路協会, 道路橋示方書・同解説 II 鋼橋・鋼部材編, 2017
- 2) 奈良敬・小松定夫: 補剛された圧縮板の極限強度曲線に関する統計学的研究, 土木学会論文集, 第 392 号/1-9, 1988 年 4 月。