

孔あき鋼板ジベルの耐荷性能評価に関する解析的研究

宗本, 理

<https://doi.org/10.15017/1441208>

出版情報：九州大学, 2013, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：全文ファイル公表済

論 文 要 旨

区 分	甲 乙	氏 名	宗 本 理
論文題名 孔あき鋼板ジベルの耐荷性能評価に関する解析的研究			

論 文 内 容 の 要 旨

土木構造物には、コンクリートと鋼材を併用した複合構造が多く存在するが、その合成部材の接合部には、鋼とコンクリート間で力を伝達させることを目的としたずれ止めが一般的に用いられる。ずれ止めとしての結合方法には、付着（接着材）を利用した方法、機械的に結合する方法、摩擦を利用した方法などに分類され、機械的に結合するずれ止めとしては、一般的なスタッドジベル、孔あき鋼板ジベル（以下、PBLと称す）、ブロックジベル（馬蹄型ジベル）、形鋼シアコネクタ等が挙げられる。その中でも、PBLはスタッドジベルより施工が容易なだけでなく、鋼板に設けた孔の中にコンクリートを充填させた後に鉄筋を貫通させることで、スタッドジベルよりずれ剛性や耐疲労性に優れていることから、鋼製連続合成桁橋や波型鋼板ウェブ橋における主桁とコンクリート床版のずれ止めや複合ポータルラーメン橋における鋼主桁と橋脚の結合箇所などに使用されている。

PBLに関する現行の設計では、破壊形態としてジベル孔内部のコンクリートの破壊もしくは孔あき鋼板の降伏が想定されている。そのため、設計式によるせん断耐荷力は、ジベルの孔径、鋼板の板厚、材料強度、貫通鉄筋径などに依存し、これまでPBLの押抜き試験や引抜き試験が数多く実施されてきた。しかし、PBLに想定される破壊性状には、上記のジベル孔内部のコンクリートの破壊や鋼板の降伏以外に、部材諸元によってはコンクリート母材に孔あき鋼板ジベルと平行な面にひび割れ（コンクリートの割裂）が生じてせん断耐力を失う破壊形態が生じることが報告されており、コンクリートブロックの背かぶりや貫通鉄筋の有無、試験体底面の摩擦などに起因していることが指摘されている。コンクリートのせん断破壊は、脆性的で危険を伴う可能性があるため、設計で想定されていないこの種のコンクリートブロックの割裂破壊の防止は非常に重要であると考えられる。

さらに、現状のPBLに関する実験的研究は静的な荷重に対する耐荷特性だけであり、動的な荷重が作用した場合の強度に関する研究は皆無である。一般に、動的荷重が構造部材に作用すると、ひずみ速度の影響で材料強度が増加する一方、脆性破壊の可能性が増すことが指摘されており、ずれ止めとして重要な役割を担うPBLに関しても、動的な荷重が作用した場合に現行の設計式で評価した耐荷力が必ずしも安全側であるとは言い難い。そのため、地震大国である日本では、動的荷重下におけるPBLの耐荷特性を把握した設計耐力式を提案することが望ましいと思われる。

以上のことを踏まえて、本研究ではPBLを対象に任意の載荷条件下におけるPBLの耐荷力を適切に評価できる設計耐力式を提案

することを目標とし、本論文ではその目標の基礎的段階として静的荷重下におけるPBLの終局状態を定量的かつ精度良く評価できる解析手法について開発し、検証した。

具体的には、解析精度が保証され、固体問題に対する適用事例が多いFEMとメッシュフリー法で大変形領域まで安定した解析が可能である粒子法 (SPH法) を本論文における数値解法とし、各数値解法でPBLの破壊性状を適切に評価するために必要な対応策を吟味し、小規模供試体と実規模供試体の2通りのPBL破壊実験との比較を行うことで、これらの妥当性を検討した。

第1章では、まず複合構造のずれ止めとして用いられている各種ジベルの特徴および種類を述べた。その上で、近年適用例が増加しているPBLに着目し、PBLに関する現行の設計の考え方を紹介するとともに、材料特性や汎用性の観点から設計の問題点や課題に関して考察した。さらに、PBLに関する既往の研究について実験と解析の両面でそれぞれ整理し、それらの現状を紹介した。最後に、本研究の目的および本論文の構成について述べた。

第2章では、任意の条件下におけるPBLの耐荷力の定量的評価に向けて、数値解析手法として幅広い分野で使用されている有限要素法(FEM)と、フリーメッシュ法で粒子による離散化を行う粒子法(SPH)に着目した。次に、固体問題への適用例が少ないSPH法の理論を説明した。さらに、本研究の解析対象であるPBLの破壊性状に着目し、鋼とコンクリートの付着破壊とジベルの破壊に大別した。最後に、FEMとSPHを用いて上記の付着破壊とジベルの破壊を表現するための適切な方法について、既往の研究を参考にしながら記述し、次章以降に検討する内容について示した。

第3章では、FEMやSPH法によってPBLの破壊性状を適切に評価できるコンクリートの力学モデルを提案した。提案するコンクリートの力学モデルは、PBLの破壊と同様の傾向が得られている側圧を変えた3軸圧縮試験から構築した。その際に、コンクリートの降伏条件には静水圧に依存したDrucker-Pragerの破壊基準を適用し、静水圧の状況に応じてせん断破壊と圧縮破壊を表現可能なモデルを参照した3軸圧縮試験から設定した。さらに、コンクリートの特徴である引張破壊に関して、既往の研究から主ひずみによる異方性を考慮した表現方法の導入を試みて、その妥当性についても検討した。

第4章では、まず鋼とコンクリート間における付着特性に関して、第2章で記述した界面要素によるFEMによる検討を行った。その後、界面要素と同様に第2章で紹介したせん断破壊を模擬したずれ要素を用いて、付着を有した供試体サイズのPBLの検討を行い、ずれ要素によるモデルの妥当性について考察した。

第5章では、第3章で提案したコンクリートの力学モデルを用いて、FEMによるPBLの静的解析を実施した。また、解析手法の汎用性を考えて、第2章で述べた接触処理による判定で鋼とコンクリート間の付着や摩擦を表現し、そのモデルの妥当性について検討した。ここでは供試体サイズによるPBLのジベル孔径やジベル孔数を変えた押抜きせん断解析を実施し、提案した力学モデルを用いたPBLのFE解析に関する妥当性について考察した。さらに、一般的に微小変形理論が用いられるコンクリートのFE解析で、解析精度の低下などの課題が考えられる大変形領域への適用を試みるため、要素の再分割 (remesh機能) といった方法を導入し、PBLの終局状態について検討を行った。

第6章では、メッシュレス手法の一つであり、FEMに比べて大変形を伴う現象を容易に表現できるSPH法を適用したPBLの検討を実施した。まず、SPH法を静的解析に適用するための手法やPBLの解析を適切に行うための留意点などについて簡易モデルを用いて検討した。具体的には、コンクリートの引張破壊や圧縮破壊、さらに貫通鉄筋の破断処理などの有無の影響などについて、PBLの押抜きせん断解析から把握した。次に、PBLの破壊解析に対するSPH法の妥当性について検討するため、第5章で参照したジベル孔数やジベル孔径を変えた供試体を用いた押抜きせん断試験に対する解析を実施した。

第7章では、第4章から第6章まで実施してきた3種類の評価手法 (破壊に特化したずれ要素を用いた方法、実現象に近い表現と考えられる提案したコンクリートの力学モデル、大変形問題へ適用可能なSPH法) を用いて、実規模サイズのPBLに対する検討を実施し、実験結果と比較することでPBLの耐荷性能に対する各評価手法の妥当性について考察した。

第8章では、本研究で得られた成果を総括するとともに、今後の検討課題について述べた。