

純曲げを受けるリブありフランジ継手の耐荷性能に関する実験的検討

日鉄建材株式会社 ○笠原啓, 國領ひろし, 大隅久

1. はじめに

鋼製砂防構造物設計便覧では、リブありフランジ継手の強度は、部材と連結部の強度に大きなアンバランスが生じないよう母材全強の 75%以上の強度を持たせるものとされている¹⁾。現行設計法では、継手に作用する曲げモーメントに対して、中立軸を仮定してボルトの直径、本数およびフランジプレートの板厚を算出することとしているが、現行設計法で設計されたリブありフランジ継手の耐荷性能に関する実験や解析などの研究はあまり見当たらない。

そこで本研究では、現行設計法に基づき仕様を決定したリブありフランジ継手の耐荷性能を確認するため、実物大の継手を有する鋼管はりを用いて曲げ実験を実施した。

2. リブありフランジ継手の現行設計法

リブありフランジ継手の設計では、図-1に示すように継手に作用する曲げモーメントに対して、引張力は接合ボルトのみで負担するものとし、曲げモーメントによって生ずる応力を三角形分布として必要な接合ボルトの直径、本数を決定している。また、フランジプレートは、最遠端の引張側の鋼管とリブの辺に囲まれた 3 辺固定の長方形板とみなし、上記で算定されたボルトに作用する張力が 3 辺固定の長方形板に作用するものとして発生応力を算定し、フランジプレートの板厚を求めることとしている。

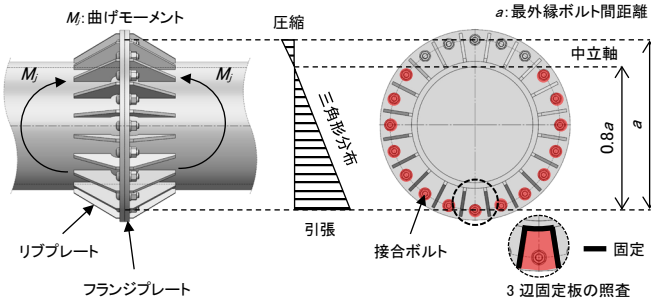


図-1 リブありフランジ継手の現行設計法

3. 載荷実験

3.1 実験の概要

実験は、実物大のリブありフランジ継手付き鋼管はり(以下、継手付き鋼管はり)と鋼管はり単体(継手なし)の 2 タイプとした。鋼管はりは、各タイプとも支間距離 7,000mm の単純支持はりで、はり中央 1,000mm が純曲げ区間となるように載荷梁を使用した 4 点曲げ載荷とした。図-2 に、継手付き鋼管はりの場合の曲げ実験概要図を示す。継手付き鋼管はりの場合は、継手をはり中央(純曲げ区間)に配置した。なお、各タイプとも支点および載荷点には、鋼管のへこみ変形が生じないよう内ダイアフラムにより補強している。

載荷は、漸増載荷とし、継手が破壊(接合ボルトが破断)に至るまで実施した。測定項目は、各タイプとも荷重、変位およびひずみで、載荷点の荷重をロードセル、供試体中央

部および支点部の鉛直変位を接触型変位計で計測した。継手付き鋼管はりの場合の測定位置を図-2 に示すが、継手付き鋼管はりの場合は、フランジプレートの開き量(クリップ型変位計)およびボルトの軸ひずみ(ボルト軸部内に埋め込んだボルト用ひずみゲージ)も計測することとした。

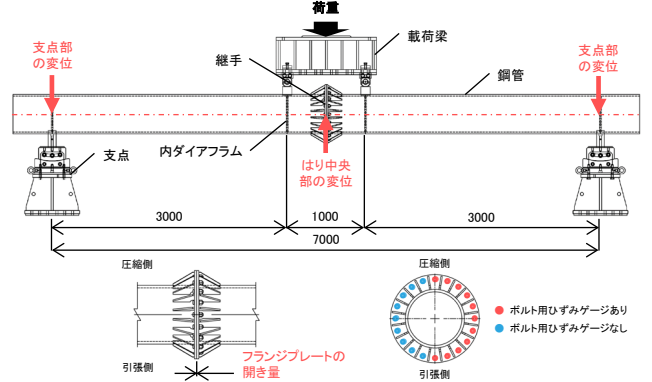


図-2 曲げ実験概要図(継手付き鋼管はりの場合)

3.2 供試体の概要

表-1 に、供試体の諸元を示す。本実験で使用した鋼管は一般構造用炭素鋼管(STK490)で、鋼管の直径および板厚は実際の鋼製透過型砂防堰堤で用いられている寸法(D500mm×t22mm)とした。また、継手は鋼管全強(ここでは、公称降伏応力)の 75%に相当する曲げモーメントに対して前述の現行設計法に基づいて仕様を決定しており、フランジプレートおよびリブプレートは溶接構造用圧延鋼材(SM490)で厚さはそれぞれ t19mm, t12mm, 接合ボルトは M22 のトルシア形高力ボルト(S10T)を 20 本使用した。

なお、フランジプレート同士の連結(接合ボルトの締付け)は、接合部で十分な密着が得られるよう予備締めを行った後、専用の締め付け機器を用いて所定のボルト軸力(212～249kN)を導入して本締めを行った。

表-1 供試体の諸元

項目	鋼管※1	リブありフランジ継手※2		
		フランジ	リブ	接合ボルト
寸法(mm)	D500×t22	D750×t19	t12	M22
材質	STK490	SM490	SM490	S10T
降伏応力(N/mm ²)	411 (315)	390 (315)	382 (315)	1,044 (900 以上)
引張強さ(N/mm ²)	554 (490)	522 (490)	528 (490)	1,089 (1,000～1,200)

※1 引張試験(材料試験実施)の結果値
※2 鋼材検査証明書(ミルシート)の値
※3 カッコ内の数値は公称値

3.3 実験結果

(1) 荷重と変位の関係

図-3 に、各タイプの荷重とはり中央部の変位(支点部の変位を差引いた支点からの相対変位)の関係を示す。図中には、式(1)で求めた継手の設計耐力相当荷重(接合ボルト

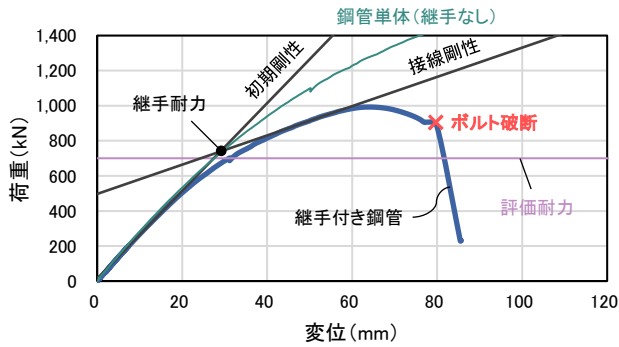


図-3 荷重とはり中央部変位の関係

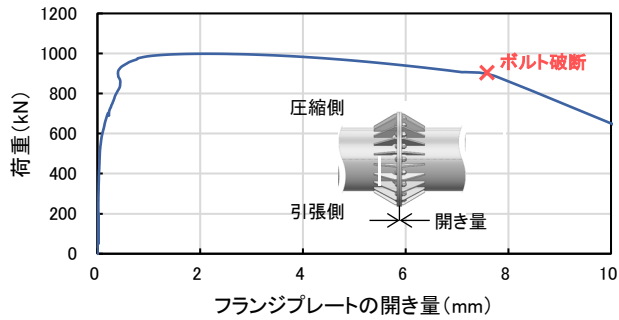


図-5 荷重とフランジプレート開き量の関係

トの実耐力を考慮した鋼管全強 75%の曲げモーメント相当荷重, 以下, 評価耐力)の値(691kN)も併記している。

$$P_{je} = 0.75P_{py} \frac{\sigma_{by}'}{\sigma_{by}} \quad (1)$$

ただし, P_{je} :評価耐力, P_{py} :はり理論に基づく鋼管はりの公称降伏応力相当荷重, σ_{by}' :接合ボルトの降伏応力(ミルシート値), σ_{by} :接合ボルトの降伏応力(公称値)。

継手付き鋼管はりの場合, 最大荷重は 998kN となり, その後, 荷重 883kN で接合ボルトが破断した。ここで, 最大荷重と評価耐力を比較すると, 継手付き鋼管はりは, 評価耐力の約 1.4 倍(=998/691kN)の耐力を有することが確認された。接合ボルトの破断状況を, 図-4 に示す。ボルトの破断は引張側で生じ, 11 本が環状に破断した。なお, 各ボルトの破断は, 概ね同じタイミングであった。

継手付き鋼管はりの曲げ剛性をみると, 荷重約 600kN 付近までは線形挙動を示し, 鋼管はり単体(継手なし)と同等の剛性を有することがわかる。一方, 同荷重レベル以降は, 非線形挙動を示している。これは, 図-5 に示す荷重とフランジプレートの開きの量の関係より, 荷重約 600kN 付近においてフランジプレートの開き量が大きくなっていることから, フランジプレートの開きによる影響であると考えられる。

(2) 継手の曲げ耐力

図-3 に示す荷重とはり中央部変位の関係から, 継手付き鋼管はりの耐力(以下, 継手耐力)を評価する。評価方法は, Slope factor 法²⁾を参考に, ここでは, 継手耐力を荷重とはり中央部変位の関係における初期剛性と接線剛性(初期剛性の 1/3)の交点の荷重として評価を行った。これより, 継手耐力は 753kN となり, 評価耐力以上(約 1.1 倍)を有することを確認した。

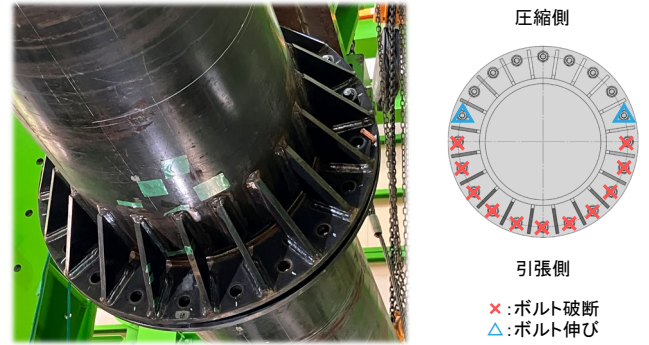


図-4 接合ボルトの破断状況

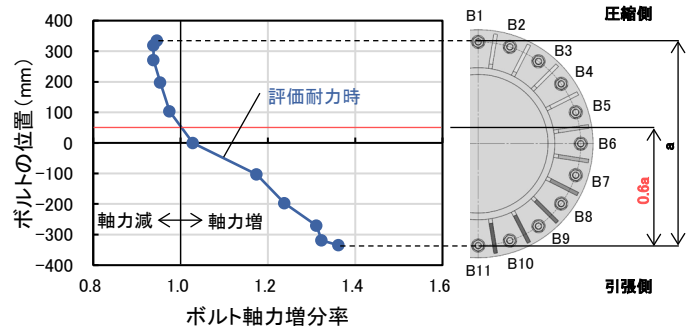


図-6 ボルトの軸力分布(評価耐力時)

(3) 接合ボルトの軸力分布

図-6 に, 評価耐力時におけるボルト軸力分布を示す。ここでのボルト軸力は, 本締めによる導入軸力以降の軸力増分率(軸力増分率=ボルト軸ひずみ/軸力導入時のボルト軸ひずみ)を示す。これより, ボルト軸力は引張側最外縁のボルトから順番に大きくなっており, 前述の現行設計法で想定しているボルト軸力分布(三角形分布)と同様である。一方, ボルト軸力の増減から推定される中立軸の位置は, 最外縁ボルト間距離の約 0.6 倍(図中のボルト No.B5 と B6 の間)であり, 現行設計法で仮定している位置(最外縁ボルト間距離の 0.8 倍)よりも引張側であった。

4. おわりに

本研究の成果をまとめると, 以下のようになる。

- 1) 現行設計法に基づいて仕様を決定した継手付き鋼管はりは, 評価耐力近傍では非線形挙動を示したものの, 最大荷重は評価耐力の約 1.4 倍を有することを確認した。
- 2) 本研究の範囲でのボルト軸力分布は, 現行設計法で想定している分布(三角形分布)と同様となる。
- 3) 中立軸位置は, 現行設計法で仮定している位置とは異なる結果(現行設計法より引張側)であったが, 現行設計法に基づいて仕様を決定した継手耐力は, 評価耐力を上回ること(約 1.1 倍)が実験的に確認された。

今後, 鋼管仕様(鋼管径や板厚)の違いや圧縮側の抵抗の影響などについても検討する必要があると考える。

参考文献

- 1) (一財) 砂防・地すべり技術センター: 新編・鋼製砂防構造物設計便覧 鋼製砂防構造物委員会, 令和 3 年版, 2021。
- 2) (独) 建築研究所, (社) 日本鉄鋼連盟: 鋼構造建築物の構造性能評価試験法に関する研究 委員会報告書, 2002。