

曲げを受ける鋼 I 桁高力ボルト支圧接合継手部の限界強度に関する解析的研究

J F E エンジニアリング (株) 正会員 ○吉田 基次
 大阪大学大学院工学研究科 正会員 亀井 義典

1. はじめに

鋼橋において高力ボルトを用いて部材同士を接合する方法としては、高力ボルト摩擦接合が多用されてきた。しかし、近年の少数主桁化に代表される合理化橋梁では、主部材の高強度化、厚板化が進んでおり、従来の F10T 級の高力ボルトを用いた摩擦接合では必要ボルト本数が多くなり、穿孔により有効断面が減少するなど合理化設計の足枷となることがある。このような場合、ボルト 1 本あたりの荷重伝達力を大きくすることが得策だと考えられるが、その方法の 1 つとして高力ボルト支圧接合の利用があげられる。合理化設計の一選択肢としてフランジを支圧、ウェブを摩擦とした併用継手は潜在的な需要があると考えられる。しかし、高力ボルト支圧接合継手に関しては実験的研究でボルトや鋼板に生じる局所的応力および伝達せん断力などの検討を行うことが困難であるため、解析的研究により力学挙動を明らかにする必要がある。引張力を受ける継手を対象とした高力ボルト支圧接合に関する解析的研究は報告されているが¹⁾、I 桁を対象とした高力ボルト支圧接合に関する解析的研究は報告されていない。本報告では、摩擦接合同様のボルトおよび打込みボルトを用いた I 桁高力ボルト支圧接合継手について曲げ解析を行い、フランジ母材板厚が各種限界強度に与える影響を明らかにする。

2. 解析モデル

解析プログラムは、高力ボルト接合継手を対象とした弾塑性有限変位プログラムを用い、要素は 20 節点アイソパラメトリック要素を用いる。解析モデルを図-1 に示す。ウェブは 6 行 2 列、上フランジおよび下フランジは片側 2 行 2 列の 2 面せん断継手とし摩擦接合および支圧接合の両方で解析を行う。支圧接合に用いる高力ボルトは通常の高力ボルト (F10T, M20) (接触式支圧接合) と道示²⁾で推奨している打込みボルト (B10T, M20) (打込み式支圧接合) とする。母材および連結板の鋼種は SS400 とし、板厚に応じた降伏応力度を用いる。弾性係数は $2.0 \times 10^5 \text{MPa}$ 、ポアソン比は 0.3 とする。解析では対称性を考慮し継手全体の 1/4 モデルとする。初期導入ボルト軸力は標準軸力の 181.5kN を全てのボルトに導入しボルト軸力導入後、継手端部に強制回転角を与えて純曲げ状態とする。なお、強制回転角のみではフランジ部での部分すべりや局所的降伏現象などにより 2 次的な軸方向力が発生するため、調整方向変位 u を与え 2 次的軸方向力を解消させる。ボルト孔径は道示²⁾に従いウェブの摩擦接合では 22.5mm、フランジの支圧接合は 21.5mm とする。なお、打込み式支圧接合を用いる場合、ボルト軸とボルト孔の間に隙間がないものと仮定する。

3. 解析結果

表-1 に解析モデルの断面諸元を示す。ここで、 M_{SL}^* はすべりモーメント、 M_{Yg}^* はフランジ総断面降伏モーメント、 M_{Yn}^* はフランジ純断面降伏モーメント、 N_{SL} はフランジすべり強度、 N_{SYn} はフランジ連結板純断面降伏強度、 N_{FYn} はフランジ母材純断面降伏強度の公称値を表している。また、設計値において局部座屈よりもすべりおよび降伏が先行するように、板厚、ボルト本数、および配置を決定している³⁾。図-2 にフランジ母材厚と各限界強度の関係を示す。図-2 (a) は使用限界、(b) は終局限界に対応する。縦軸は各限界時の荷重(降伏限界 M_{FYn} 、支圧限界 M_{bear} 、ボルトの破断限界 M_{bolt} 、母材の破断限界 M_{Fu}) を各限界強度の設計値 (母材純断面降伏強度 M_{Yn}^* 、母材の破断強度 M_{Fu}^*) で無次元化した値、横軸は母材の板厚を表す。ここでいう降伏限界状態と

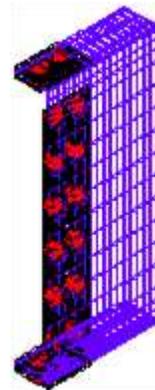


図-1 解析モデル

キーワード 高力ボルト, 接触式支圧接合, 打込み式支圧接合, 併用継手, 有限変位解析

連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院社会基盤工学部門 TEL 06-6879-7599

表-1 解析モデル諸元

シリーズ名		A-12	A-18	A-24	A-30	A-36	A-42
ウェブ接合形式		摩擦接合	摩擦接合	摩擦接合	摩擦接合	摩擦接合	摩擦接合
フランジ接合形式		接触式 打込み式					
フランジボルト本数 (ノ片側)		4	4	4	4	4	4
ウェブ	高さ (mm)	800	800	800	800	800	800
	板厚 (mm)	8	8	8	8	8	8
	連結板厚 (mm)	6	6	6	6	6	6
フランジ	幅 (mm)	235	235	235	235	235	235
	板厚 (mm)	12	18	24	30	36	42
	連結板厚 (mm)	8	12	16	20	24	28
曲げモーメント	M_{SL}^* (kN・m)	462	466	469	472	476	479
	M_{Yg}^* (kN・m)	561	814	1093	1376	1663	1792
	M_{Yn}^* (kN・m)	458	665	893	1124	1359	1464
	M_{Fn}^* (kN・m)	748	1131	1519	1912	2311	2716
パラメータ	$\beta = N_{SL}^* / N_{Fn}^*$	1.01	0.70	0.53	0.42	0.35	0.33
	$\gamma = N_{SYn}^* / N_{FYn}^*$	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15

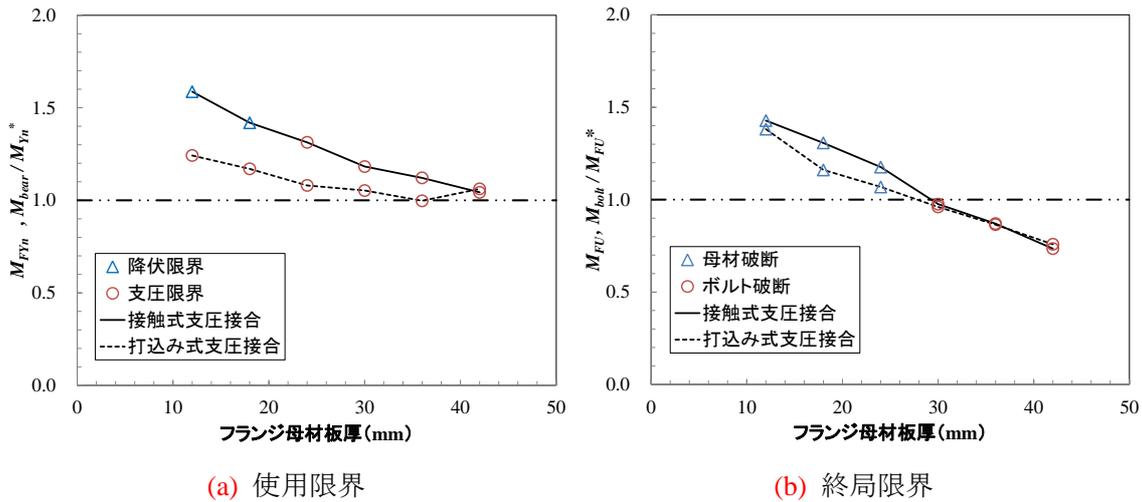


図-2 フランジ母材厚と各限界強度の関係

は、引張側フランジ母材純断面における積分点が全て降伏した状態、支圧限界状態とは解析においてボルト孔の支圧部分に位置する要素の全積分点が降伏に達した状態、ボルトの破断限界状態とはボルト断面を構成する要素の積分点が全て降伏した状態、母材の破断限界とは解析上で母材のひずみが JIS で規定されている 18% となった状態をさす。また、本稿では継手のすべりは許容するものとし、降伏限界および支圧限界を使用限界、ボルトの破断限界と母材の破断限界を終局限界と定義している。図-2 (a) の△、○は限界状態がそれぞれ降伏限界、支圧限界、(b) の△、○は母材破断、ボルト破断となったモデルを示し、実線は接触式支圧接合、破線は打込み式支圧接合を示す。使用限界に関しては、接触式支圧接合の板厚 18mm 以下のものは降伏限界によるものであり、それ以外は全て支圧限界によるものであった。一方、終局限界に関しては接触式支圧接合および打込み式支圧接合ともに板厚 30mm を上回るケースではボルト破断によるものであり、板厚 24mm 以下のケースでは母材の延性破断によるものであった。使用限界に関しては板厚の違いによる強度の変化はほとんど確認されなかった。接触式支圧接合と打込み式支圧接合を比較すると、接触式支圧接合のほうが使用限界は高くなっているのがわかる。これは、接触式支圧接合では摩擦による力の伝達のほうがボルトのせん断力による力の伝達よりも大きいため、応力集中が緩和され使用限界が若干高くなったと考えられる。終局限界に関しては、母材破断によるものは接触式支圧接合のほうが打込み式支圧接合に比べて 10% 程度高くなっている。これは、接触式支圧接合は主すべり発生以降突合わせ母材の接触によっても力を伝達しているため、より多くの荷重を伝達できたのではないかと考えられる。なお、ボルト破断強度については接触式支圧接合と打込み式支圧接合で違いは見られなかった。

【参考文献】1) 亀井義典, 谷口侑也: 高力ボルト支圧接合の荷重伝達機構および限界強度に関する解析的研究, 鋼構造論文集, Vol.17, No.68, 2010.12. 2) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, II 鋼橋編, 2002.3. 3) 石川誠, 亀井義典, 西村宣男: 曲げを受ける鋼 I 桁高力ボルト継手部の限界強度に関する解析的研究, 土木学会論文集, No.759, pp.157-170, 2004.4.