

第I部門 継手降伏モードに着目した高力ボルトスプリットティー継手の降伏耐力に関する2, 3の考察

大阪市立大学大学院 学生員 ○杉本 悠真
 大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司

1. 研究背景および目的

高力ボルト引張接合（以下、引張接合）の使用限界の一つである降伏耐力は、国内外の設計指針でそれぞれ耐力式が異なり、設計降伏耐力における実際の応力状態は明確になっていない。これは接合部の板厚が増大する要因にもなっている。

本研究では、鋼構造接合部設計指針、Eurocode、道路橋示方書、橋梁用高力ボルト引張接合設計指針（それぞれ以下、AIJ 指針、EC、JHBS 指針、JSSC 指針）に着目し、各設計指針の降伏耐力の比較と、FEM 解析での応力状態を明らかにする目的で、スプリットティー継手を対象とした Abaqus 2016 によるパラメトリック解析を実施した。

2. 解析モデルおよびケース

解析モデルを図1に示す。解析モデルは継手ウェブ、継手フランジ、溶接余盛、高力ボルト(M22F10T)、座金から構成されており、境界面に対称条件を与えることで、スプリットティー継手の1/4範囲をモデル化した。継手ウェブ板厚は32mm、溶接余盛サイズは8mmとした。メッシュ要素は全ての構成要素で非適合要素を使

用しており、継手フランジ板厚、幅方向の要素分割数はそれぞれ8,15とし、高力ボルトの要素サイズは呼び径の1/12とした。これらのメッシュ条件で出力される図2のMises 節点応力が5%以下に収束することを事前検討で確認した。継手ウェブ-継手フランジ間、座金-継手フランジ間、溶接フィレット-継手ウェブおよび継手フランジ間は節点共有で拘束し、継手フランジ面には有限滑りを考慮した接触非線形を与え、その摩擦係数は鋼材粗面を仮定し0.25とした。解析ステップはボルト設計軸力（165 kN）導入段階と、強制変位による荷重導入段階の2段階に分けて実施した。また、使用した鋼材の応力ひずみ関係を図3に示す。

解析で変化させたパラメータを表1に示す。本研究では、継手フランジ、継手長、高力ボルト中心から継手ウェブ表面までの距離（以下、b寸法）、継手フランジ材質を変化させた計96ケースの解析ケースを作成した。

3. 各設計指針および解析結果の降伏耐力の比較

図5に設計指針から求められる降伏耐力および解析結果の降伏耐力ならびに継手降伏モード（図4）の比較を示す。また、FEM 解析から求まる降伏耐力および継

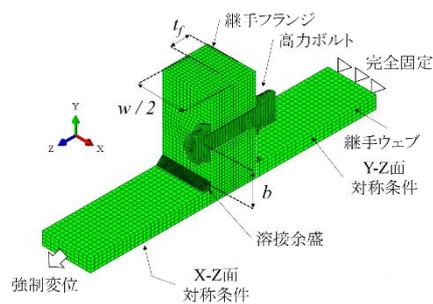


図1 スプリットティー継手の解析モデル

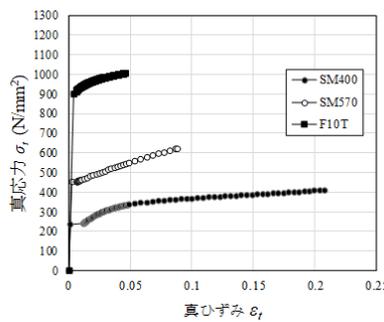


図3 使用鋼材の応力ひずみ関係

表1 解析で変化させる構造パラメータ

継手フランジ板厚 tf (mm)	12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 40
継手長 w (mm)	75, 100, 120
b寸法 b (mm)	50, 70
材質	SM400, SM570

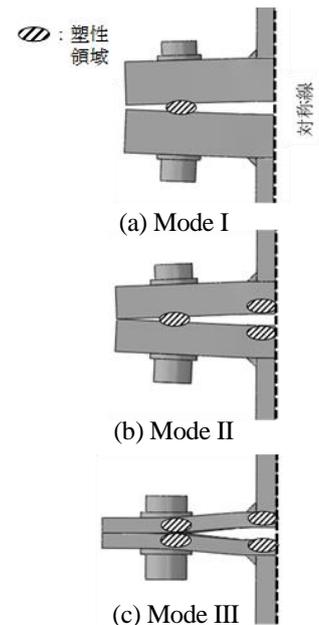


図4 継手の降伏モード

図2 Mises 節点応力参照位置

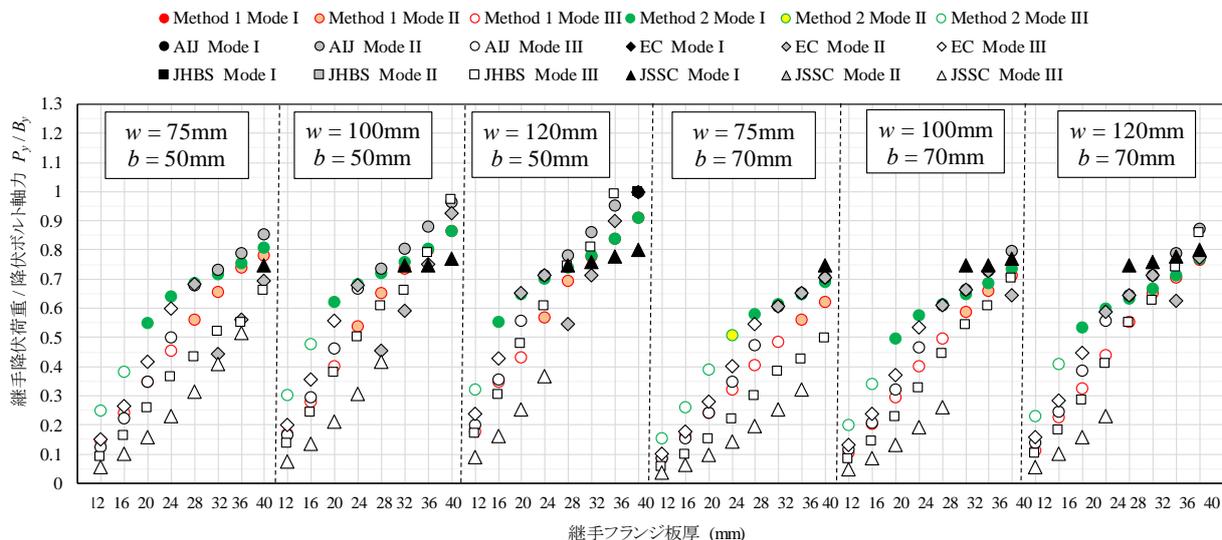


図5 板厚と継手降伏耐力の関係 (継手フランジ材質 SM400 材のみをプロット)

表2 解析での降伏耐力と継手降伏モードの定義

降伏モード	降伏順		
	1番目	2番目	3番目
Mode I-1	B	W	F
Mode I-2	B	F	W
Mode II	W	B	F
Mode III-1	F	B	W
Mode III-2	W	F	B
Mode III-3	F	W	B

B : ボルト軸力が降伏ボルト軸力に到達した際の荷重
 W : 図2中のWA, WC節点のMises応力が降伏応力に到達した際の荷重
 F : 図2中のBA, BB, BE, BF節点のMises応力が降伏応力に到達した際の荷重
Method 1 : 図2のWA, BA, BBのMises節点応力を参照, 板表面の降伏を想定, JSSC指針を対象
Method 2 : 図2のWC, BE, BFのMises節点応力を参照, 全断面降伏を想定, JSSC指針以外の指針を対象

手降伏モードの定義を表2に示す。図5の縦軸はボルト1本あたりの降伏耐力を降伏ボルト軸力で除した無次元化量, 横軸は継手フランジ板厚である。継手フランジの増厚に伴い降伏耐力も上昇する。JHBS指針とJSSC指針でMode IIが存在しないが, これは継手フランジとボルトの複合的な降伏を考慮できる耐力式がこれらの指針で存在しないためである。Mode III時のJSSC指針は他の設計指針や解析より決まる降伏耐力と比較すると安全側であり, JSSC指針の設計では継手フランジが厚くなる。また, AIJ指針, ECのMode Iはてこ反力を考慮しておらず, 解析より求まる降伏耐力と比較すると危険側である。JHBS指針とJSSC指針におけるMode Iの降伏耐力はてこ反力を考慮しているが, それぞれでてこ反力の算出法が異なり, JHBS指針が危険側であった。継手長wが一定の条件下でb寸法が変化しても, JSSC指針のMode Iにおける降伏耐力は変化しない。これはJSSC指針で使用されるてこ反力の算定式の変数にb寸法が含まれていないためである。

解析と設計の降伏耐力の無次元化量の平均値と標準

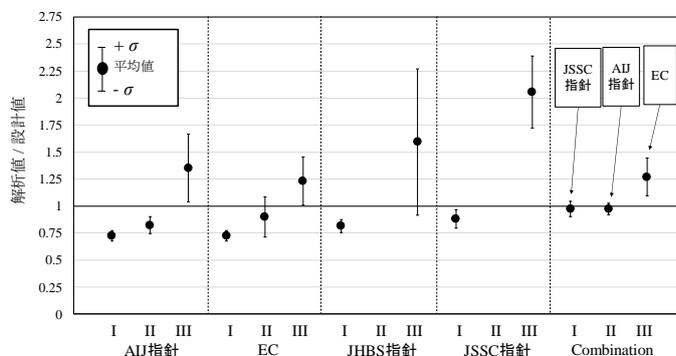


図6 解析値と設計値の継手降伏耐力の比較

偏差をまとめたものを図6に示す。Mode IIIの標準偏差が大きいが, 全ての設計指針で平均値は1を超えており, 特に, ECは平均値が1に最も近かつ標準偏差が小さい。対して, Mode Iの平均値は全ての設計指針で危険側となった。これはAIJ指針, ECについてはMode Iの耐力式でてこ反力を考慮していないこと, JHBS指針とJSSC指針についてはMode IIを設計で考慮できていないことが原因と考えられる。これらの設計指針の中で比較すると, JSSC指針が最も安全側にMode Iの降伏耐力を推定できる。この結果から, Mode I, II, IIIをそれぞれJSSC指針, AIJ指針, ECの耐力式を組み合わせ降伏耐力を求める(Combination)と, 解析と設計の降伏耐力の無次元化量が1に近づき, 解析値により近い降伏耐力を算出することができる。

<参考文献>

- 1) 日本建築学会: 構造用接合部設計指針, 2007.3.
- 2) European Committee for Standardization: Eurocode 3: Design of Steel Structures-Part 1-8: Design of joints, EN1993-1-8, 2005.
- 3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説書, II 鋼橋・鋼部材編, 2017.11.
- 4) 日本港構造協会: 橋梁用高力ボルト引張接合設計指針, 2004.5.