

フィラーを有する高力ボルト摩擦接合継手の純引張荷重下におけるひずみ分布と降伏耐力の変動特性に関する解析的検討

大阪市立大学大学院 学生員 ○藤原 眞幸

大阪公立大学大学院 正会員 山口 隆司

1. 緒言

道路橋示方書¹⁾において、高力ボルト摩擦接合継手の限界状態 1 はすべりおよび被接合部材の降伏で定義される。フィラーを有する場合についても同様に、その耐荷性能を照査する必要がある。

文献 1), 2) では、フィラーを有する高力ボルト摩擦接合継手 (以下、フィラー継手) を対象とした既往研究の結果を受け、すべり耐力が低下しないフィラー厚等を規定している。しかし、被接合部材の降伏に着目した事例は数少なく、降伏耐力の変動特性は明らかでない。

本研究では、純引張を受ける短冊状フィラー継手を対象にパラメトリック解析を行い、フィラー継手のひずみ分布と降伏耐力の変動特性を検討した。

2. 解析手法

解析ケース、解析モデルを表 1, 図 1 にそれぞれ示す。パラメータは文献 3) の実橋実績値をもとに式 (1), (2) で表される断面変化率 α 、すべり/降伏耐力比 β とした。

$$\alpha = \frac{t_{fp}}{t_{mf} + t_{fp}} \quad (1)$$

$$\beta = \frac{P_{std}}{P_{ynd-mf}} = \frac{\mu_d mn N_d}{\sigma_y t_{mf} (w - d_o)} \quad (2)$$

ここに、 t_{fp} : フィラー厚, t_{mf} : 薄板側母材厚, P_{std} : 設計すべり耐力, P_{ynd-mf} : 薄板側母材設計降伏耐力, μ_d : 設計すべり係数, m : 接合面数 (=2), n : ボルト本数, N_d : 設計ボルト軸力, σ_y : 被接合部材の降伏点, t_{mf} : 薄板側母材厚, w : 板幅, d_o : ボルト孔径である。

解析ソルバーに Abaqus/Standard2018⁴⁾を用いて対称性を考慮した静的弾塑性有限変位解析を行った。要素分割には 8 節点低減積分ソリッド要素を用い、接触面とボルト軸部-ボルト孔壁間にクーロン摩擦モデルを付与した。解析ステップは、ボルト軸力を導入し、次のステップで強制変位を与える手順で構成した。

解析に用いた材料特性を表 2 に示す。母材、フィラーおよび連結板は SM490Y, ボルトセットは F10T として、それぞれ公称値を参考としたバイリニア型、トリリニア型の構成則を与えた。

解析における被接合部材の降伏は、板厚中央の要素群の塑性化がボルト孔から板幅方向に進展してコバ面まで至った時点と定義し、その荷重を降伏耐力とした。

なお、これらの解析手法は文献 5) によってその妥当性が検証されている。

表 1 解析ケース

解析ケース	断面変化率 α (%)	すべり/降伏耐力比 β_d	連結板/母材降伏耐力比 γ_d	薄板側母材厚 t_{mf} (mm)	フィラー厚 t_{fp} (mm)	連結板厚 t_{sp} (mm)	板幅 w (mm)	ボルト列数 n	ボルト径 d (mm)	ボルト孔径 d_o (mm)	ピッチ p (mm)	端あき距離 e_1 (mm)	設計すべり係数 μ_d	設計ボルト軸力 N_d (kN)	設計すべり耐力 P_{sd} (kN)	設計母材降伏耐力 P_{ynd-m} (kN)	設計連結板降伏耐力 P_{ynd-s} (kN)
n4-a0-s	0	0.67	0.67	28	0	16	135	4	22	24.5	75	40	0.45	205	738	1098	1255
n4-a22-s	22																
n4-a36-s	36																
n4-a50-s	50																
n4-a0-y	0	1.18	1.18	16	0	9	135	4	22	24.5	75	40	0.45	205	738	628	706
n4-a22-y	22																
n4-a36-y	36																
n4-a50-y	50																

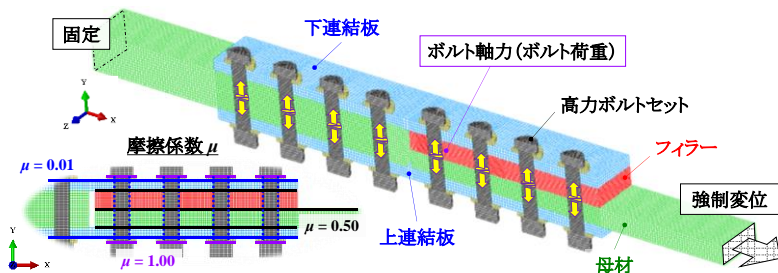


図 1 解析モデルの一例

表 2 材料特性

使用部材	鋼種	弾性係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν	真応力 σ^* (N/mm ²)	対数ひずみ ϵ^* (μ)
母材 フィラー 連結板	SM490Y	200,533	0.300	355.6	1,773
				474.0	48,790
高力ボルト セット	F10T	201,352	0.300	904.1	4,490
				908.0	8,861
				1,047.4	46,311

キーワード フィラー, 高力ボルト摩擦接合継手, 偏心曲げ, 降伏耐力

連絡先 〒594-1105 大阪府大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学大学院 橋梁工学研究室 TEL06-6605-2765

3. 結果と考察

降伏耐力, 抵抗力の内訳を表3, 図2にそれぞれ示す。

なお, 図2における連結板の純断面作用力は2枚の連結板の合力, 摩擦伝達は純断面までの摩擦力である。

表3, 図2より, 母材および連結板の降伏耐力は断面変化率の増加とともに低下した。母材の降伏耐力に着目すると, ケース $n4-a-s$ の低下が $n4-a-y$ に対して顕著となり, $n4-a-s$ の降伏耐力は設計値の 0.98 倍となった。一方, 断面変化率の増加に伴う連結板の降伏耐力の低下は, ケース $n4-a-s$, $n4-a-y$ ともに母材よりも著しく, $n4-a-s$, $n4-a-y$ の耐力はそれぞれ設計値の 0.89 倍, 0.93 倍となった。また, 降伏時の抵抗力の内訳に着目すると, ケース $n4-a-s$ と $n4-a-y$ の純断面作用力は同等であることがわかる。これより, すべり/降伏耐力比 β の大きい $n4-a-y$ で降伏耐力が大きくなるのは, 降伏時において残存摩擦力による抵抗が大きいためと考えられる。

設計降伏耐力時における母材および連結板のひずみ分布を図3に示す。なお, 図中のプロットの塗潰し箇所は, ひずみが降伏ひずみに至ったことを示している。

図3より, 各部材は純引張に加えて偏心曲げを受け, 断面変化率が大きくなるほど板厚方向のひずみ分布が不均一となっていることがわかる。図3(a)より, 継手端部における母材のひずみは下連結板側で大きくなり, ケース $n4-a50-s$ では板厚中央のひずみが降伏ひずみに, 下連結板側のひずみは降伏ひずみの 1.2 倍以上に達した。これより, フィラー継手における母材は継手端部でフィラー側に孕んだ反り変形を生じ, 図2(a)のケース $n4-a-s$ ようにフィラーへの摩擦伝達の内訳が小さくなると考えられる。図3(b), (c)より, 遊間部のひずみは上連結板縁端に向かうほど大きく, 継手端部と反対側に反り変形を生じた。上連結板のひずみに着目すると, すべてのフィラー継手で降伏ひずみを超過し, ケース $n4-a-s50$, $n4-a-y50$ ではそれぞれ降伏ひずみの 7.0~8.6 倍, 1.1~2.3 倍となった。これより, フィラー継手における下連結板は偏心曲げの引張側となるためにひずみが増大し, 図2(b)のように純断面作用力が小さい段階で下連結板の作用応力が増加して降伏に至ると考えられる。

4. 結言

本研究で得られた主な結論を以下に示す。

- (1) フィラー継手では, 母材が継手縁端で下連結板側に孕み, フィラーへの摩擦伝達が小さくなる。
- (2) 遊間部では上連結板が偏心曲げの引張側となり,

表3 解析結果

解析ケース	断面変化率 α (%)	すべり/降伏耐力比 β_d	母材降伏耐力		連結板降伏耐力	
			P_{yn-m} (kN)	/設計値	P_{yn-s} (kN)	/設計値
			P_{yn-m}/P_{ynd-m}	P_{yn-s}/P_{ynd-s}		
$n4-a0-s$	0	0.67	1176	1.07	1286	1.02
$n4-a22-s$	22		1124	1.02	1202	0.96
$n4-a36-s$	36		1121	1.02	1157	0.92
$n4-a50-s$	50		1073	0.98	1115	0.89
$n4-a0-y$	0		677	1.08	740	1.05
$n4-a22-y$	22	1.18	669	1.07	719	1.02
$n4-a36-y$	36		661	1.05	688	0.97
$n4-a50-y$	50		653	1.04	657	0.93

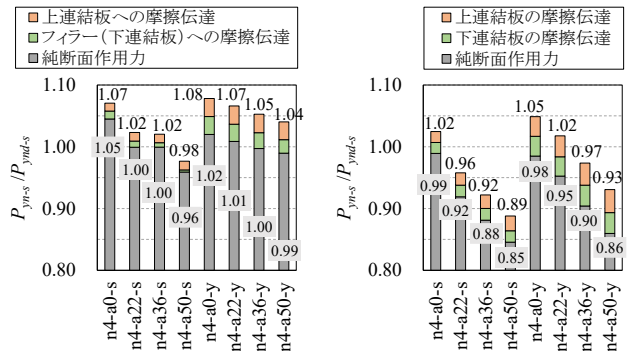


図2 降伏耐力と抵抗力の内訳

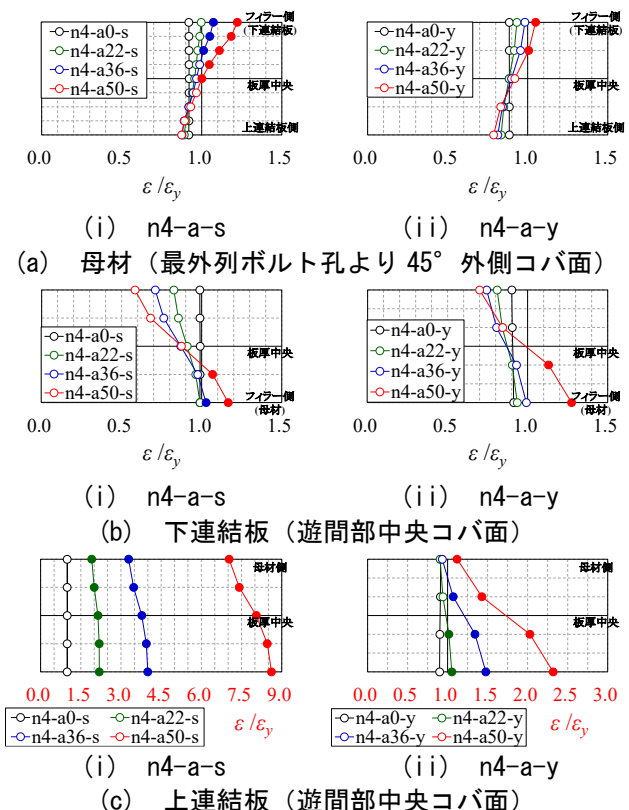


図3 設計降伏耐力時の板厚方向ひずみ分布

ひずみが増大して降伏耐力が大きく低下する。

【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) 土木学会: 高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針 (案), 2006.
- 3) 土木学会: 部材連結に関する現状と課題, 2012.
- 4) SIMULIA: Abaqus Analysis User's Manual Ver 2020.
- 5) 藤原眞幸, 山口隆司, 古財千寿: フィラーを有する高力ボルト摩擦接合継手の終局限界状態を考慮した間接連結の効果に関する解析的検討, 構造工学論文集 Vol. 67A, pp. 296-308, 2021.