厚板多列高力ボルト摩擦接合継手の 母材純断面降伏挙動に関する解析的研究

彭 雪¹・山口 隆司²・高井 俊和³

¹ 学生会員 大阪市立大学大学院 工学研究科 (〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138)

E-mail: housetsu@brdg.civil.eng.osaka-cu.ac.jp

² 正会員 大阪市立大学大学院教授 工学研究科 (〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138)

E-mail: yamaguti@civil.eng.osaka-cu.ac.jp

³ 学生会員 大阪市立大学大学院 工学研究科 (〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138)

E-mail: takai@brdg.civil.eng.osaka-cu.ac.jp

引張力のかかる高力ボルト摩擦接合継手の設計では、すべりと母材降伏に対して照査される。その母材降伏照査では、継手の降伏耐力は母材純断面の降伏耐力に加えて、ボルト前面での摩擦伝達力が考慮されている。しかし、道路橋示方書や建築分野の鋼構造接合部設計指針では、摩擦伝達力の規定が異なる。本研究では、それらの基準が想定している降伏状態と照査規定の違いを整理している。また、近年増加している厚板多列の高力ボルト摩擦接合継手を対象としたFEM解析を実施し、それぞれの降伏定義に基づいた継手降伏耐力と摩擦伝達力の割合を比較し、降伏定義が違えば降伏耐力や、その割合も異なることを示している。加えて、それぞれの段階における降伏領域の進展状況を明らかにしている。

Key Word: yield strength, yield behavior, yielding of net cross section, thick plate, high strength bolted friction type joint, FEM analysis

1. はじめに

近年、構造合理化を図った鋼橋の普及により、部材設計では、最小重量設計から製作、架設費を含めたコストを最小化する設計へと変化している。その結果、部材は大型化し、それらを接合する連結部も大型化している。そのため、現場連結部に一般的に用いられる高力ボルト摩擦接合継手においても厚板化や、ボルト列数の多列化に対応した設計手法の確立が求められている。平成 24 年に改定された道路橋示方書¹⁾では、高力ボルト摩擦接合継手における多列ボルトの列数制限の緩和とともに、8 列を超える多列ボルトの場合に対して、ボルト一本あたりの許容力の低減係数が導入された。しかし、このような多列厚板高力ボルト摩擦接合継手を対象に、ボルト孔を控除した母材純断面の降伏照査については検討がなされておらず、必ずしも明確となっていない。

高力ボルト摩擦接合継手における純断面の降伏照査は、既往の設計指針では以下のように規定されている。

道路橋示方書¹⁾(以下、道示という)では、母材、連結板の降伏に対して安全に設計しなければならないとされ、引張材の純断面応力度の照査では、純幅と板厚の積

で求めた純断面積を 1.1 倍まで割増してもよいとされている。これは、秋山らの曲げ試験結果²⁾を参考に規定されたものであり、試験体の母板厚が 12mm、かつボルト列数が 2 列および 3 列の継手を対象として検討が行われた。

一方、建築分野の鋼構造接合部設計指針³⁾(以下、鋼構造指針という)で、継手降伏耐力 P_{y2*} は

$$P_{y2*} = F_{yield} \cdot A_n + n_r \cdot q_{by} \cdot \gamma_f \quad (1)$$

ここに、

F_{yield} : 母材または添板の降伏強さ

A_n : ボルト孔欠損を差し引いた母材または添板の正味断面積

n_r : 想定破断線上のボルト本数

(ボルト配置が 1 行×n 列の場合、 $n_r=1$)

q_{by} : 高力ボルト 1 本あたりのすべり耐力

γ_f : 第 1 ボルト前面で伝わる摩擦力の割合 ($\gamma_f=1/3$)

と規定されている。継手降伏耐力 P_{y2*} は、ボルト孔前面で伝わる摩擦力が考慮され、純断面の降伏耐力 $F_{yield}A_n$ にその摩擦力が加算されている。このボルト孔前面で伝わ

る摩擦力は、想定破断線上のボルトのすべり耐力 $n_r q_{by}$ の3分の1と規定されている。

このように、道示および鋼構造指針における純断面部の降伏照査では、いずれもボルト前面での摩擦伝達を考慮し、継手の降伏耐力は純断面部の降伏耐力に加算することとなっているがその記述に差異がみられる。

そこで、本研究は、これらの継手純断面の降伏照査の規定の違いに着目し、FEM解析により以下の項目の検討を行うことを目的とする。

- (1) 道示と鋼構造指針において、純断面降伏の照査に関する記述内容の違いによる各種降伏耐力の差を継手設計降伏耐力および母材純断面降伏耐力の視点から整理する。
- (2) 厚板多列高力ボルト摩擦接合継手を対象に、継手の降伏が進展する挙動を明らかにし、設計で考慮している各種降伏状態と実挙動との関係を整理する。

2. 降伏時作用力／純断面力比 α_y

(1) 降伏時作用力／純断面力比 α_y の定義

本研究では、継手降伏耐力、つまり降伏時の継手作用力 P_y とその時点での母板純断面力 F_y の比率を降伏時作用力／純断面力比 α_y とし、式(2)のように定義する。 P_y と F_y の着目位置を図-1に示す。なお、本研究では、母板の純断面降伏耐力が連結板のそれより低いと仮定し、母板の降伏のみに着目することとしている。

$$\alpha_y = \frac{P_y}{F_y} \quad (2)$$

なお、 P_y と F_y との差は、ボルト前面での接合面で摩擦伝達される荷重である。 α_y の大小により、継手作用力に対するボルト前面での摩擦伝達荷重の割合がわかる。純断面設計降伏耐力 F_d は、母材降伏点 σ_y と母材純断面積 A_n との積で求められることから、 α_y を求めるときの F_y を $F_d = \sigma_y A_n$ とすることで、設計計算上で見込んでいるボルト前面での摩擦伝達荷重の割合を比較することがで

図-1 P_y および F_y の着目位置

きる。

(2) 鋼構造接合部設計指針における降伏時作用力／純断面力比 α_{yA}

鋼構造指針では、純断面降伏については、式(1)によって降伏時の継手作用力 P_y を求めている。1行 $\times$ n 列の継手を対象に、式(1)を道示と同じ記号を用いると、

$$P_y = \sigma_y \cdot A_n + n_r \cdot v \rho_a / 3 \quad (3)$$

ここに、

n_r : 想定破断線上のボルト本数 (=1)

v : 安全率

ρ_a : ボルト1本あたりの許容力
(=すべり耐力／安全率)

となる。したがって、鋼構造指針における α_{yA} は、

$$\alpha_{yA} = \frac{\sigma_y \cdot A_n + v \rho_a / 3}{\sigma_y \cdot A_n} = 1 + \frac{v \rho_a / 3}{\sigma_y \cdot A_n} \quad (4)$$

と書ける。ここで、式(4)にすべり降伏耐力比 β

$$\beta = \frac{n \cdot \mu N}{\sigma_y \cdot A_n} = \frac{n \cdot v \rho_a}{\sigma_y \cdot A_n} \quad (5)$$

ここに、

μ : すべり係数

N : ボルト軸力

を代入すると

$$\alpha_{yA} = 1 + \frac{\frac{\beta \cdot \sigma_y \cdot A_n}{3}}{\sigma_y \cdot A_n} = 1 + \frac{\beta}{3n} \quad (6)$$

となる。

(3) 道路橋示方書における降伏時作用力／純断面力比 α_{yB}

道示では、純断面降伏は応力で照査される。母板純断面積を1.1倍に割増しする場合の照査応力 s_y は、

$$s_y = \frac{P_y}{1.1 A_n} \quad (7)$$

ここに、

P_y : 降伏時の継手作用力

A_n : 母板の純断面積

であるから、降伏時の母板の純断面力 F_y は、

$$F_y = s_y \cdot A_n = A_n \cdot \frac{P_y}{1.1 A_n} = \frac{P_y}{1.1} \quad (8)$$

表-2 解析で用いた材料特性

部位および鋼種	ヤング率 (N/mm ²)	ポアソン 比	降伏応力 (N/mm ²)
母板 SM490Y	206,500	0.289	363.3
連結板 SM490Y	213,400	0.271	375.7
ボルトM22 (F10T)	200,000	0.3	900 ⁷⁾

表-3 解析ケースの諸元

解析ケース	降伏先行型			すべり先行型		
	75mm-3 -1.2	75mm-8 -1.2	75mm-12 -1.2	75mm-3 -0.24	75mm-8 -0.57	75mm-12 -0.57
ボルト列数	3	8	12	3	8	12
母板厚(mm)	75					
連結板厚(mm)	38					
板幅(mm)	43	75	100	120	120	190
すべり/降伏耐力比 β	1.20			0.24	0.57	
純断面の降伏荷重 F_y (kN)	504	1,376	2,057	2,602	2,877	4,510

行うため、すべり先行型 ($\beta=0.24, 0.57$) のケースも設定した。

4. 解析結果および考察

(1) 解析結果

降伏先行型の解析結果のまとめを表-4 に示す。なお、表-5 に示すように降伏判定基準 1~3 を設定し、それぞれの降伏時継手作用力を P_{y1} , P_{y2} , P_{y3} と定義した。なお、 F_{y1} , F_{y2} , F_{y3} は、その時点の母板純断面力である。なお、純断面力は、母板純断面部に生じる載荷方向応力を積分して求めたものである。また、 α_{y1} , α_{y2} , α_{y3} は、降伏時継手作用力を純断面設計降伏耐力 $F_d = \sigma_y A_n$ で除した降伏時作用力/純断面力比である。降伏判定基準 1 は、道示の純断面降伏の照査規定を参考に、継手作用力 P が純断面設計降伏耐力 $F_d = \sigma_y A_n$ の 1.1 倍に達した時点、つまり $P = 1.1 F_d = 1.1 \sigma_y A_n$ の時点以降を降伏としている。降伏判定基準 2 は、鋼構造指針の継手降伏耐力が純断面の降伏耐力とボルト前面で摩擦伝達される荷重の合計であることから、純断面力 F が、純断面の設計降伏耐力 F_d に達し

表-4 解析結果のまとめ

解析ケース	降伏先行型		
	75mm-3 -1.2	75mm-8 -1.2	75mm-12 -1.2
導入軸力(kN)	204	205	204
F_{y1} (kN)	481	1,445	2,202
F_{y2} (kN) = F_d	504	1,376	2,057
F_{y3} (kN)	573	1,498	2,194
P_{y1} (kN)	554	1,514	2,263
P_{y2} (kN)	573	1,440	2,120
P_{y3} (kN)	632	1,556	2,255
$P_{y2} - F_{y2}$ (kN)	69	64	63
$\alpha_{y1} = P_{y1}/F_d$	1.10	1.10	1.10
$\alpha_{y2} = P_{y2}/F_d$	1.14	1.05	1.03
$\alpha_{y3} = P_{y3}/F_d$	1.25	1.13	1.10

※ F_d は、純断面設計降伏耐力 ($= \sigma_y A_n$)

表-5 解析で定義した降伏判定基準

降伏判定基準	降伏時作用力 / 断面力比	純断面設計 降伏耐力	継手作用力	純断面力	コバ面 ひずみ
1	α_{y1} $= P_{y1}/F_d$	$F_d = \sigma_y A_n$	P_{y1} $= 1.1 \sigma_y A_n$	F_{y1}	—
2	α_{y2} $= P_{y2}/F_d$		P_{y2}	F_{y2} $= \sigma_y A_n$	—
3	α_{y3} $= P_{y3}/F_d$		P_{y3}	F_{y3}	$\varepsilon = \varepsilon_k$

σ_y : 降伏点

ε_y : 降伏ひずみ

A_n : 純断面積

黄色下線部 : 降伏判定基準 (条件式を満たした時点以降を降伏発生とみなす)

図-4 内側相対変位および側面のひずみの位置

た時点、つまり $F = F_d = \sigma_y A_n$ の時点としている。また、降伏判定基準 3 は、道示の純断面降伏の照査規定で引用されている文献 2) や類似の研究 9) と同じく、図-4 に示す母板純断面の側面のひずみ ε が降伏ひずみ ε_y に達した時点以降を降伏としている。

図-5 に道示の α_{yB} と、鋼構造指針の α_{yA} 、および解析結果との比較を示す。

α_{y2} と α_{y3} は、ボルト列数が多いほど低下する傾向にある。また、 α_{y1} は、降伏判定基準 1 の定義から当然ながら 1.1 となっている。また、いずれのボルト本数とも、降伏判定基準が異なれば、降伏時作用力/純断面力比 α_y が異なっている。

鋼構造指針の α_{yA} と、解析結果の α_{y2} とは、よく一致している。また、降伏判定基準の定義より当然ながら、道示の α_{yB} と、解析結果の α_{y1} とが一致している。一方、解

図-5 解析結果と設計指針の比較

 図-6 継手作用力と純断面設計降伏耐力 ($\sigma_y A_n$) との比較

析結果の α_3 は、列数が少ないと道示の α_B よりも高くなっているが、最も値の小さい 12 列では α_B とほぼ同じである。

図-6 に、純断面設計降伏耐力 ($F_d = \sigma_y A_n$) で無次元化した継手作用力 (P_y) と純断面力 (F_y) の関係を示す。

いずれの降伏判定基準とも、ボルト列数が多いほど、降伏時の継手作用力 P_y (グラフのオレンジと青色部分の合計) に対するボルト前面の摩擦伝達 (グラフの青色部分) の割合は少なくなっている。つまり、降伏判定基準によらず、ボルト列数が多いほど、降伏時の継手作用力に対するボルト前面で摩擦伝達される荷重の割合が小さくなることを示している。このことは、すべり/降伏耐力比 β を一定としたため、ボルト列数が多いほど降伏耐力が高くなる一方で、表-4 に示すように降伏判定基準 2 の時点でボルト前面で摩擦伝達される荷重 ($P_{y2} - F_{y2}$) は、ボルト列数が多くなるにつれ若干低くなるもののほぼ等しいためである。なお、この摩擦伝達される荷重 ($P_{y2} - F_{y2}$) は、鋼構造指針に示されている想定破断線上のボルトの摩擦耐力の 3 分の 1 (68kN) 程度となっている。

降伏判定基準 2 の場合、その定義より、無次元化した F_{y2} が 1.0 となっている。また、降伏判定基準 1 の場合は

図-7 荷重—相対変位関係

図-8 荷重—ひずみ関係

ボルト列数が 3 列の場合を除いて、降伏判定基準 3 の場合はいずれのボルト列数とも、降伏時の純断面力 F_y が純断面設計降伏耐力 $\sigma_y A_n$ よりも上回っている。これは、純断面部のボルト孔付近の応力集中およびひずみ硬化の影響と考えられる。一方、降伏判定基準 1 でボルト列数が 3 列の場合、 F_{y1} が $\sigma_y A_n$ を下回っており、この降伏判定基準では、設計上純断面降伏耐力を低く見積もっていることになる。

(2) 降伏挙動

継手作用力と母板、連結板間の内側相対変位との関係を図-7 に示す。また、図-8 には継手作用力と継手側面のひずみの関係を示す。なお、内側相対変位とひずみの着目位置は図-4 に示している。

表-5 に示した降伏判定基準より、図-7 において降伏判定基準 1 の P_{y1} および F_{y1} は、継手作用力 (赤実線) と純断面設計降伏耐力 $F_d = \sigma_y A_n$ の 1.1 倍 (赤点線) との交点で決定される。降伏判定基準 2 の P_{y2} および F_{y2} は、純断面力の (灰色実線) と純断面設計降伏耐力 $\sigma_y A_n$ (青点線) との交点で決定される。また、降伏判定基準 3 の P_{y3} および F_{y3} は、図-8 において継手側面のひずみが降伏ひずみ ϵ_y である緑点線に達した時点で決定される。図-

図-9 降伏時の母板のミーゼス応力分布
(外側のボルト3列部分)

7にもその時点を示している。

また、図-9に降伏時点の母板外側ボルト付近におけるミーゼス応力¹⁰⁾のコンター図を示す。なお、各ケースとも降伏判定基準を満足した順（降伏発生順）に並べている。

降伏判定基準2では、図-7より、いずれの解析ケースとも相対変位が0.2mm程度となっている。また、図-9

図-10 解析結果と既往研究の比較

より、 $P=P_{y2}$ の時点では、図-1に示した純断面部においてほとんど降伏していないことがわかる。ボルト孔付近では、荷重方向には応力集中が生じるものの、ボルト軸力方向に発生する応力との組み合わせの結果、ミーゼス応力が小さくなり降伏応力には達していないものと考えられる。

降伏判定基準3では、図-7より、いずれのケースとも P_{y2} より後に発生しており、その時点の相対変位は1.4mm程度となっている。図-8から、降伏ひずみ時点での継手作用力がほぼ横ばいになっているため、純断面がほぼ全体にわたり降伏していることが推定され、図-9の応力分布でも、その降伏状況が確認できる。

図-7からもわかるように、ボルト列数により降伏判定基準1~3の発生順序が異なっている。 $1.1\sigma_y A_n$ (赤点線)と $\sigma_y A_n$ (青点線)との差がボルト列数に応じて異なるのに対し、解析結果の継手作用力 (赤実線)と純断面力 (灰色実線)の差は、ボルト列数が異なってもほぼ同じである。つまり、それぞれの降伏判定基準で仮定しているボルト前面で摩擦伝達される荷重の割合と解析結果が異なっており、その結果、ボルト列数によって降伏発生の順序が異なると考えられる。

また、表-4に示している降伏判定基準2では、ボルト前面で摩擦伝達される荷重($P_{j2} - F_{j2}$)が、ボルト列数が多いほど小さくなっている。また、図-7より、ボルト列数が多いほど、グラフが水平となる接合面のすべり進展時の荷重よりも P_{j2} の荷重の方がより低くなっている。したがって、ボルト列数が多いほど P_{j2} 時におけるボルト1本当たりの摩擦伝達荷重は低く、その結果、ボルト前面で伝達される荷重も低くなったと考えられる。

(3) 解析結果と既往研究の比較

本研究で得られた解析結果と文献8), 9)の継手引張試験結果との比較を図-10に示す。図の横軸はすべり/降伏耐力比 β である。縦軸は、すべり先行型ではすべり荷

重 P_{SL} を、降伏先行型では降伏時の継手作用力 P_{j2} , P_{j3} の値を純断面設計降伏耐力 ($F_d = \sigma_y A_n$) で無次元化した値である。なお、文献 8) の降伏耐力は純断面位置の継手コバ面のひずみが降伏ひずみに達した時点を降伏としたものであり、文献 9) は降伏耐力の記載がないため、すべり荷重を示している。

すべり先行型の場合では、既往の試験結果とほぼ同じ結果が得られた。降伏先行型の場合、 α_{j3} は文献 8) の試験結果とほぼ同じであった。一方、 α_{j2} は解析結果の α_{j3} よりも小さく、また、試験結果より 3%~10% 程度小さいことから、解析では降伏荷重を低く評価することになった。なお、文献 9) の結果が、解析結果や文献 8) の試験結果よりも高くなっている。これは、対象が降伏先行型の継手であり、降伏発生後にすべりが発生したと推測され、すべり荷重で評価したことによって試験結果が大きくなったと考えられる。

5. 結論および今後の課題

本研究では、道路橋示方書と鋼構造接合部設計指針による母材純断面部の降伏照査の違いを整理した上で、母板厚が 75 mm、すべり／降伏耐力比 β が 1.2 (降伏先行型) および β が 0.24 と 0.57 (すべり先行型) でボルト列数が 3 列、8 列、12 列の厚板高力ボルト摩擦接合継手を対象に FEM 解析を実施し、継手の降伏挙動と設計で考慮している降伏状態との関係性を整理した。得られた主な結論を以下に示す。

- 1) 継手の降伏時点における継手作用力と、純断面力の比を降伏時作用力／純断面力比 α_j と定義し、道路橋示方書と鋼構造接合部設計指針それぞれの降伏照査方法を整理した。その結果、前者の α_{jB} はボルト前面での摩擦伝達の割合がボルト列数、およびすべり／降伏耐力比 β が変化しても一定であるが、後者の α_{jA} は β が低いほど、また、ボルト列数が多いほど小さくなり、両者に差があることを示した。
- 2) 設計基準や既往の研究を参考に、降伏判定基準 1 から 3 の 3 つの降伏判定基準を設定し、解析結果を評価した。降伏判定基準 1 は継手作用力が純断面設計降伏耐力 ($F_d = \sigma_y A_n$) の 1.1 倍に達した時点、降伏判定基準 2 は純断面力が純断面降伏耐力 (F_d) に達した時点、降伏判定基準 3 は継手側面のひずみが降伏ひずみ ϵ_y に達した時点とした。その結果、降伏判定基準 1 の降伏時作用力／断面力比 α_{j1} は、いずれのケースとも 1.1 と一定となったが、 α_{j2} と α_{j3} は、ボルト列数が多いほど低下する傾向となった。また、いずれのボルト本数とも、降伏判定基準が異なれば、降伏時作用力／純断面力比は異なった。

- 3) 鋼構造接合部設計指針の α_{jA} と、降伏判定基準 2 の α_{j2} とがよく一致した。また、降伏判定基準 3 の α_{j3} は、道路橋示方書の α_{jB} よりも高くなっているが、最も値の小さい 12 列の α_{j3} は α_{jB} とほぼ同じであった。
- 4) 降伏時の継手作用力に対するボルト前面で摩擦伝達される荷重の割合は、降伏判定基準によらず、ボルト列数が多いほど小さくなることを示した。
- 5) 解析結果のミーゼス応力分布から、継手作用力が降伏判定基準 2 の時点では純断面部はほとんど降伏応力に達しておらず、降伏判定基準 3 の時点ではほぼ全体にわたり降伏していることを確認した。
- 6) 解析結果と既往の継手すべり試験結果との比較から、解析結果の α_{j3} は試験とほぼ同等の結果が得られていることを確認した。また、 α_{j2} で評価することで安全側の評価を与えることを確認した。

本検討では、ボルト列数の影響に主眼を置き、すべり／降伏耐力比 β が一定のもと、ボルト列数を変化させた比較を行ったため、I 桁継手の下フランジ部で通常想定されるボルトのゲージ間隔より、結果的に板幅が狭いものや広いものも扱った。今後、すべり／降伏耐力比 β や板幅、板厚などの構造因子が異なる継手においても本研究の成果が成立するかについて確認する必要がある。また、本論文では、解析により検討したが、降伏耐力および降伏挙動については、実際にすべり試験を行い、確認する必要がある。

謝辞： 研究当時、大阪市立大学大学院前期博士課程の孫宏赫君には、解析に関し多くの協力を得た。また、本研究の一部は、平成 23, 24 年度日本鉄鋼連盟鋼構造研究・教育助成事業の助成を受けて行ったものである。ここに記して感謝の意を表す。

付録 1 本文記号一覧表

A_n	: 母板の純断面積
F	: 純断面力
F_d	: 純断面設計降伏耐力 ($= \sigma_y A_n$)
F_y	: 降伏時の純断面力
F_{y1}	: 降伏判定基準 1 時点の純断面力 ($P = 1.1F_d = 1.1\sigma_y A_n$ となった時点)
F_{j2}	: 降伏判定基準 2 時点の純断面力 ($F = F_d = \sigma_y A_n$ となった時点)
F_{j3}	: 降伏判定基準 3 時点の純断面力 (継手側面のひずみが降伏ひずみに達した時点)
N	: ボルト軸力
n	: ボルト列数
n_r	: 想定破断線上のボルト本数

P : 継手作用力
 P_{SL} : すべり荷重
 P_y : 降伏時の継手作用力
 P_{y1} : 降伏判定基準1時点の継手作用力
 P_{y2} : 降伏判定基準2時点の継手作用力
 P_{y3} : 降伏判定基準3時点の継手作用力
 α_y : 降伏時作用力／純断面力比
 α_{y1} : 降伏判定基準1時点の降伏時作用力／純断面力比
 α_{y2} : 降伏判定基準2時点の降伏時作用力／純断面力比
 α_{y3} : 降伏判定基準3時点の降伏時作用力／純断面力比
 β : すべり降伏耐力比
 μ : すべり係数
 ν : 安全率
 ρ_a : ボルト許容力
 σ_y : 降伏点

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，II 鋼橋編，2012.3.
- 2) 秋山寿行，西村宣男：曲げを受ける鋼 I 桁高力ボルト継手のすべり機構と限界強度の評価，鋼構造年次論文報告集，Vol.4, pp.287-294, 1996.11.
- 3) 日本建築学会：鋼構造接合部設計指針，第2版，2006.3.
- 4) Dassault Systemes: Abaqus 6.9ja オンラインドキュメンテーション，2009.8.
- 5) 彭雪，山口隆司，高井俊和，村越潤，澤田守：厚板多列高力ボルト摩擦接合継手の構造諸元がすべり挙動に与える影響に関する解析的研究，土木学会論文集，Vol.69, No. 3, pp.452-466, 2013.
- 6) 土木研究所，大阪市立大学：高力ボルト摩擦接合継手の設計法の合理化に関する共同研究報告書，共同研究報告書第428号，2012.1.
- 7) 日本規格協会：JIS B 1186，摩擦接合用高力六角ボルト・六角ナット，平座金のセット，1995.
- 8) 辻岡静雄，脇山広三：多列高力ボルト摩擦接合部のすべり耐力に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol.40B, pp.495-500, 1994.3.
- 9) 建設省土木研究所，構造橋梁部・橋梁研究室：高力ボルト摩擦接合継手に関する試験調査，(I) 引張荷重を受ける継手のすべり耐力，土木研究所資料第1871号，1982.9.
- 10) 富田 佳宏：弾塑性力学の基礎と応用，1995.9.

(2014. 6. 16 受付)

NUMERICAL STUDY ON YIELDING BEHAVIOUR OF NET CROSS SECTION OF HIGH STRENGTH BOLTED FRICTION TYPE JOINTS WITH THICK PLATES AND MANY BOLTS

Xue PENG, Takashi YAMAGUCHI and Toshikazu TAKAI

Design of a high strength bolted friction type joint on which a tensile load applies verifies slip and yield strength of the joint. The yield strength contains yield strength of net cross section of the connected plates and a frictional resistance which transferred through connected surface on the through outside of outermost bolt. The frictional resistance defined in Japanese Specifications for Highway Bridges and Recommendation for Design of Connections in Steel Structures released by Architectural Institute of Japan are different from each other.

This paper compares the yield strengths and the yield conditions which are specified by the specifications and clarify the difference of them. And in order to clarify the yield behavior of high strength bolted friction type joint, FEM analysis for the joint is carried out focusing on a high strength bolted friction type joint which composes thick plates and many bolts. The analysis provides yield strengths based on some definitions of yielding and indicate frictional resistance transferred on the connected surface. Also, this paper discusses the yield progress of connected plates.