



鋼橋技術研究会

# 施工部会

## 報告書Ⅱ

拡大孔を用いた摩擦接合継手の  
すべり耐力と降伏耐力に関する研究

---

# 第1章 序論

## 1-1 研究の目的

高力ボルト摩擦接合継手は、ボルトを締め付けることにより添接板と母材の間に圧縮力を導入し、その間の摩擦抵抗力により力を伝達する継手機能を有するものであり、土木・建築関係の鋼構造物の現場接合に、溶接と並んで広く適用されている。

高力ボルトに関する基準は、昭和39年に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」と昭和40年「高力ボルト摩擦接合設計施工指針」（道路協会）にはじまり、何回かの制定・改訂を経て今日に至っている。

高力ボルト摩擦接合継手における拡大孔の適用は、以下の理由により近年見直されて適用の要求が高まっている。公共事業費の縮減に伴い今ある鋼橋を長寿命化するため補修・補強工事の拡大が予想されており、その場合既設橋との取り合い部の現場接合など計測・施工誤差を有する継手が増加している。また、現場溶接による継手間隔の変化や鋼床版の落とし込み架設工法などのように架設ステップでボルト間隔の変化する継手も多く、その対策（誤差吸収）として拡大孔の適用が望まれる。

一方、わが国の設計・施工に関する基準は、欧米の基準と比較して厳しい精度を要求している。特に、引張部材のボルト孔断面控除の規定は、今回（H14.3）の道路橋示方書の改訂で純断面積の割増しが可能となったが、欧米諸国の基準と比較してより合理的な基準とは言い難く、拡大孔の積極的な適用につながっていないのが現状である。

本報告書の第1章では、拡大孔の必要性、精度・設計基準の国際比較、実橋のすべり/降伏耐力比の調査結果をまとめる、2章ではボルト孔径（標準孔径 $\phi 24.5\text{mm}$ ～ $30.5\text{mm}$ ）、母板厚（ $14\sim 25\text{mm}$ ）、孔ズレなどの各要因を組み合わせた試験体を製作し、引張力を受ける高力ボルト摩擦接合継手の設計上の限界状態、すなわち、すべり耐力と降伏耐力について実験的に検討結果をまとめた。

具体的には、すべり/降伏耐力比 $\beta$ をパラメータとして設計した降伏先行型、すべり先行型とすべり・降伏がほぼ同時に起こる継手試験体を作成し、それらを対象として拡大孔継手のすべり耐力と降伏耐力について検討を行った。

すべり限界試験として拡大孔及びその孔ズレがすべり耐力をどの程度低下させるのかまた、公称強度が確保されるかの確認を行った。

降伏限界試験として、拡大孔により降伏耐力がどの程度低下するのかまた、公称強度が確保されるのかの検討を行った。

## 1-2 高力ボルト摩擦接合継手

現在、鋼橋や鉄骨などの鋼構造物の現場接合には、一般に高力ボルト摩擦接合継手を使用されている。この高力ボルトの基準には、表 1-1 に示すとおり材料・設計・施工に関するものがあり、また構造物の種類ごとに基準が定められている。

表 1-1 高力ボルトに関する基準

区 分	基 準 名 <発 行>	
材 料	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」 <sup>1979</sup> <規格協会>	
	JSS II 09 「構造用トルシア形高力ボルト・六角ナット・平座金のセット」 <sup>1981</sup> <日本鋼構造協会>	
	「摩擦接合用トルシア形高力ボルト・六角ナット・平座金のセット」 <sup>1983</sup> <道路協会>	
設 計 ・ 施 工	土	道路橋示方書・同解説 鋼橋編 <sup>2002</sup> <道路協会>
	木	鉄道構造物等設計標準・同解説(鋼・合成構造物) <sup>1992</sup> <鉄道総合技術研究所>
	建 築	鋼構造設計基準 <sup>1977</sup> <建築学会> 建築工事標準仕様書 JASS6 「鉄骨工事」 <sup>1988</sup> <建築学会> 高力ボルト接合設計施工指針 <sup>1993</sup> <建築学会>

ここでは主に、材料規格と道路橋の規格である道路橋示方書を中心に、高力ボルト摩擦接合の基準の変遷を表 1-2 にまとめた。

### 1-2-1 高力ボルト材料の基準

高力ボルトが構造物の接合に使用された記録は 1930 年代の英国にさかのぼるが、その後米国で研究が盛んになり、1951 年に基準が制定されて以降、本格的に採用されて現在に至っている。日本では 1953(S28)年頃から主に旧国鉄で研究が始まり、1956(S31)年頃から多くの鉄道橋で使用されるようになった。

1964(S39)年我が国初の高力ボルト規格である 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」が制定され、道路橋でも 1965(S40)年「高力ボルト摩擦接合設計施工指針」が制定されるなど、それまでのリベット接合からの移行が大きく進んだ。ちなみに JIS B 1186 には F7T, F9T, F11T, F13T が規定されたが、1966(S41)年に発生した「遅れ破壊」の問題から F13T が、そして 1979(S54)年からは F11T も事実上使用禁止となった。JIS B 1186 はその後 1967(S42)年、1970(S45)年、1979(S54)年の改訂を経て F8T, F10T, F11T の規定となったが、現在実質的には F10T のみを使用されてい

る。ボルト径については、M12～M24に加えてM27、M30の太径も規定に加わっている。

1970(S45)年頃からトルシア形高力ボルトの建設大臣認定による使用が増加してきたため、日本道路協会で「摩擦接合用トルシア形高力ボルト・六角ナット・平座金のセット」、日本鋼構造協会でもJSSⅡ09「構造用トルシア形高力ボルト・六角ナット・平座金のセット」が制定された。現在使用されている高力ボルトの大半はトルシア形となっている。これら2つの規格は、導入軸力の変動幅の規定に関して土木と建築で差があることからJIS化に至っていない。

### 1-2-2 道路関係の高力ボルトの基準

1964(S39)年の道路橋関連示方書の大改訂、1965(S40)年「高力ボルト摩擦接合設計施工指針」を経て、1973(S48)年の道路橋示方書改訂で高力ボルト接合が初めて採用された。その後4度行われた道路橋示方書改訂その他での、主な高力ボルト関連規定の変遷を以下に示す。

1973(S48)年道示改訂 設計関係と施工関係に分かれて記述、ボルトはF8T、F10T、F11T

1980(S55)年道示改訂 F11T 削除、添接板の規定明確化、「締め付け機の検定」を明文化

1990(H2)年道示改訂 トルシア形、拡大孔(+4.5mm)、接合面に厚膜ジンク採用、フィラ-明文化

<1995(H7)年鋼道路橋設計ガイドライン発行 主要継手にフィラ-採用>

1996(H8)年道示改訂 フィラ-は一般構造用圧延鋼材でよい、締め付け方法に耐力点法追加

2002(H14)年道示改訂 孔引き計算の緩和

なお道路橋示方書の高力ボルトに関する記述は、設計関係と施工関係に分かれているので、その内容と変遷について以下に記す。

#### 1) 設計関係

1973(S48)年の制定時は以下の内容が記されていた。

①一般 ②ボルト・ナットおよび座金 ③ボルト長さ ④ボルト孔 ⑤ボルトの応力計算⑥純断面積の計算 ⑦ボルトの中心間距離および縁端距離 ⑧勾配座金および局面座金 ⑨ボルトの最小本数

1980(S55)年改訂では、これに連結板の記述が追加になった。

1990(H2)年改訂では、①でトルシア形の採用 ⑦純断面積の項に拡大孔(+4.5mm)採用 最後に⑩フィラの項が追加になった。

1996(H8)年改訂では、②耐力点法採用(ボルトの遅れ破壊特性規定) ⑩フィラの材質で一般構造用鋼(SS材)許可

2002(H14)年改訂では、孔引き計算の緩和(摩擦接合の場合、引張材の純断面積は純幅と板厚の積としていたものを、最新の研究結果から1.1倍しても良いことになった)

## 2) 施工関係

1973(S48)年制定時の内容は以下の通りである。

- ①接合面の処理：黒皮・浮錆除去、すべり係数 0.4 以上、表面 50S 程度、塗装不可
- ②継手の隙間：くい違いが生じた場合の処理方法明記
- ③ボルトの締め付け：器具のキャリブレーション、締め付け方法＝トルク法、回転法(F8T のみ) ④締め付けボルト軸力 ⑤締め付けの順序 ⑥ボルトのセットの包装と保管 ⑦締め付け検査 ⑧溶接との併用の場合の締め付け順序

1980(S55)年改訂では、①と②が追加・変更となった。

- ①接合面に防錆処理を認める(具体的記述なし) ②くい違い処理方法削除

1990(H2)年改訂での事項は、①接合面に厚膜ジンクリッチペイントを塗装すること認め、その仕様を明記 ③トルシア形の締め付け方法・検査方法を明記、器具の定期検定追加

1996(H8)年改訂では、本四架橋の実績に基づき③耐力点法による締め付け要領明記

2002(H14)年改訂では、①溶融亜鉛メッキ処理した接合面(プラスト法推奨)

### 1-2-3 摩擦接合継手部の断面積について

従来の国内基準では、引張継手の強度をボルト孔による欠損を除いた純断面積で計算することになっていたが、西山・秋山らの研究<sup>1)2)</sup>により 2002 年 3 月改訂の道路橋示方書では、有効断面積を純断面積の 1.1 倍まで割り増ししてよいことになった。

これは、摩擦接合継手では摩擦によって母材から添接板への応力の伝達が行われることが、最近の実験に基づいた研究成果で明らかになったことに加え、諸外国の規定が同様の考えに基づいていることを考慮した結果である。

表1-2 高力ボルト関係基準類の変遷

年代	HTB関連事項	材料関係	橋梁関係	建築関係
1930年代～	英国で構造物に高力ボルトが使用され始める			
1930年代後半～	米国で高力ボルトに関する研究が盛んになる			
1951年	米国で初めて高力ボルトに関する基準が制定される			
1953 (S28) 年頃～	日本で高力ボルトの研究が始まる (旧国鉄)			
1956 (S31) 年頃～			鉄道橋で使用が始まる (F8T級)	
1960 (S35) 年				建設省告示第222号 (初めての法的規定)
1964 (S39) 年		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」制定 (F7T, F9T, F11T, F13T)	道路橋示方書 大改正	
1965 (S40) 年			「高力ボルト摩擦接合設計施工指針」 (道路協会) 制定<リベットからHTBへ移行>	「高力ボルト摩擦接合設計施工規準」 (建築学会) 制定
1966 (S41) 年頃～	遅れ割れ発生 (F13T級)			
1967 (S42) 年		JIS B 1186 改正 (F8T, F10T, F11T)		
1970 (S45) 年		JIS B 1186 改正 (M22を追加)		
1973 (S48) 年			道示改正 (HTBを規定)	
1975 (S50) 年頃～	TCBの使用増加			
1978 (S53) 年頃～	遅れ割れ発生 (F11T級)			
1979 (S54) 年		JIS B 1186 改正 (F11Tの使用規制、M27・M30を追加)		
1980 (S55) 年			道示改正 (F11T削除)	
1981 (S56) 年				JIS II 09 「構造用トルシヤ形高力ボルト・六角ナット・平座金のセット」 (日本鋼構造協会)
1983 (S58) 年			「摩擦接合用トルシヤ形高力ボルト・六角ナット・平座金のセット」 (道路協)	
1988 (S63) 年			「高力ボルト施工マニュアル」 (橋建協) 制定	
1990 (H 2) 年			道示改正 (TCB、拡大孔、接触面の厚膜ジंक採)	
1988 (S63) 年			「トルシヤ形高力ボルト設計・施工ガイドブック」 (橋建協) 制定	
1995 (H 7) 年			「鋼道路橋ガイドライン」発行 (主要継手にワイヤ採用)	
1996 (H 8) 年			道示改正 (ワイヤはSS材で可、締付方法に耐力点法追加)	
2002 (H14) 年			道示改正 (孔引き断面計算方法の緩和)	

### 1-3 拡大孔の必要性

高力ボルトの孔径は、ボルト径 M 22 に対し通常 +2.5 mm の孔径  $\phi$  24.5 mm が標準的に使用されているが、箱桁等の縦リブや現場溶接線を跨ぐ継手においては現状でも +4.5 mm の孔径  $\phi$  26.5 mm が認められている。これらは部材製作後のリーミングが困難であるとか、現場溶接の収縮により母材のボルト間距離が収縮する等の理由からである。しかし、ここで言う拡大孔はさらに大きな孔径とすることで、より合理的に部材製作が出来る可能性があるのではないかとすることも視野に入れている。

例えば、仮組立省略桁での添接板の後孔明け作業や架設キャンバー系の異なる継手の仮組立時仮添接板の廃止、あるいは仮組立、架設時のリーミング作業の低減等が考えられる。

#### 1-3-1 拡大孔を必要とする構造および架設工法

拡大孔を必要とする構造上及び架設工法上の理由としては以下の項目が考えられる。

##### 1) 構造

- ① 斜橋・拡幅部の横桁、対傾構
- ② 対傾構下弦材と下横構ガセットの取り合い部
- ③ 既設桁との取り合い継手
- ④ 調整ブロックの全断面

##### 2) 架設工法

- ① 現場溶接により孔ピッチが変化するおそれのある継手
- ② 落とし込み工法の落とし込みブロック
- ③ 大ブロック架設で剛結ジョイントを有する継手
- ④ 落とし込み鋼床版の橋軸・橋軸直角方向の継手
- ⑤ 橋軸方向にキャンバーを有し、主構造と長さの異なる部材（縦桁等）

#### 1-3-2 製作・架設上の長短所

先に述べた考えは、架設完了後に所定の品質、出来形が確保されればよいということに基づいており、母材と添接板が寸分違わず合っている必要はないということである。つまり、製作上不必要な管理を低減することで製作の合理化を進められる可能性が高いということである。

ただし、孔が合わないということは架設時にドリフトピンが打てず寸法を決めにくく仮組立の再現は困難であり、別途パイロットホールが要るとか、寸法を確認しながら架設するといった問題点も内在しており、架設時に寸法確認が困難な張出し架設工法やケーブル架設工法等には適用出来ない。

拡大孔を使用する場合の長短所を表 1-3 に示す。

表 1-3 製作・架設上の長短所

長 所	短 所
計測誤差・施工誤差・溶接收縮を吸収できる。	キャンバー、平面線形が決めずらい。
仮組立時の整孔作業が少なくなる。	仮組立の再現が困難。
工場溶接の縮みを吸収でき、添接板の先孔加工ができる。	仮組立の再現のため、パイロットホールが必要な場合もある。

### 1-3-3 設計上の問題点

拡大孔を用いることで一般にはすべり耐力、すべり係数あるいは疲労強度は低下すると、言われているが、適用する拡大孔の範囲でそれらの低下がどの程度であるのかを明らかにする必要がある。また現行の道示では、引張継手の母材強度は孔引き後の純断面で評価されているが、

- ・実際には摩擦により作用力の一部が母材から添接板へ伝達されるため有効断面積としては純断面積より大きいこと。
- ・曲げ部材はウエブとフランジを個別に照査しているが、すべりに対しては共同で抵抗すること。

等から今回の道示の改訂でも一部基準の見直しがなされている。

### 1-3-4 高力ボルト摩擦接合現場継手に関するアンケート調査結果

鋼技研施工部会拡大孔WGで拡大孔についてアンケート調査を行ったので、その結果を表 1-4 に示す。



表1-4 高力ボルト摩擦接合現場継手に関するアンケート回答結果

質問 No.	回答例	集計	意見
		(%)	
1. パイロットホールは必要ですか？	1) 架設工法に関係なく必要である。	<p>3 0% 2 31% 1 69%</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1)が最善であるが、2)が妥協点と思う。</li> <li>・仮組立の再現に必要。</li> <li>・現場はパイロットホールを寄せピンとして利用し、初期形状(キャンバー)を決定。仮組立省略工法で製作した鈹桁・箱桁などは真のパイロットホールがない。今後の鋼床版箱桁、鋼橋脚なども、仮組立省略されるかもしれない。</li> </ul>
	2) 特定の架設工法のみ必要である。		
	3) あまり役に立たないので必要ない。		
2. パイロットホールの設け方はどれが容易ですか？	1) 仮組立時のドリフトピン位置。	<p>3 0% 2 50% 1 50%</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・真のパイロットホールとはいえない。</li> <li>・製品精度に自信があり、全ての孔がパイロットホールとして利用しても、精度確保できるなら、1)の「仮組立時のドリフトピン位置」の考えもできる。</li> <li>・シミュレーション仮組立を行う場合は所定位置。</li> <li>・あればよい。</li> </ul>
	2) 予め位置を決め仮組立時にサブサイズから繰り上げる。		
	3) その他		
3. パイロットホールが必要な架設工法がありますか？	1) ある	<p>1 30% 2 70%</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・トラッククレーンベント工法、張出工法、組みながらの送り出し、斜吊り工法、一括架設継手、閉合部材(落とし込み部材)の架設、オールベント工法、桁連結装置の添接板。</li> <li>・不要な架設工法はない。架設上、ピン合わせで行い再現する方式のため、多点工法でも無理と考える。少しのクリアーでも回転変位が生じる。</li> <li>・仮組立精度の再現を目的とするなら、基本的にはない。ただし、仮組立省略システムで製作された物は、パイロットホールは、期待していない。この場合、架設は多点支持ベンド工法を採用する必要がある。従って、強いて言えば、多点支持ベンド工法の鈹桁、箱桁は不要といえる。この場合、架設での精度管理、架設精度をどのようにするか、官公庁を交えて十分話をする必要がある。</li> <li>・パイロットホールを設けた方が、現場での精度管理がしやすい。</li> </ul>
	2) ない		

質問 No.	回答例	集計	意見
		(%)	
4. パイロットホール の不要な継手 はありますか？	鋼桁 1)ある		<ul style="list-style-type: none"> <li>・対傾構、横構、横桁(但し、対傾構は支点上はあった方が良い。)</li> <li>・ラテラル、二次部材。</li> <li>・強いて挙げればフランジ。</li> <li>・主桁以外。</li> <li>・多点支持をする場合は不要。</li> <li>・計測スプライスのウェブ・フランジ。</li> <li>・トラッククレーンベントの時は全て不要。</li> <li>・直橋の鋼桁。</li> </ul>
	2)ない		・形状保持のため必要。
	箱桁 1)ある		<ul style="list-style-type: none"> <li>・縦桁、横桁、支材、横構。</li> <li>・縦リブ、縦桁。(横構、ブラケットも不要としたいがパイロットホールの主旨からいうとはせずせない、特にブ)</li> <li>・主桁以外。</li> <li>・トラッククレーンベントの時は全て不要。</li> <li>・ストリンガー。</li> </ul>
	2)ない		・形状保持のため必要。
	鋼床版箱桁 1)ある		<ul style="list-style-type: none"> <li>・トラフリブ、横桁。</li> <li>・縦リブ、横リブ、縦桁。</li> <li>・主桁以外・鋼床版。</li> <li>・腹板。</li> </ul>
	2)ない		<ul style="list-style-type: none"> <li>・形状保持のため必要。</li> <li>・形状管理が難しいので必要。</li> </ul>
5. 拡大孔の適用 は可能ですか？	1)条件付きで可能である。		<ul style="list-style-type: none"> <li>・全体の出来型に余り大きく影響しない箇所。(対傾構、横構、縦桁、縦リブ…)</li> <li>・仮組立時、あるいは現場でリーミングできない箇所。(縦リブ…)</li> <li>・後死荷重となる箇所、架設系で孔ズレが生じるところ。(後死荷重の鋼床版縦シーム・横シーム…)</li> <li>・パイロットホールが確實であれば可能。工場の孔精度が良ければ。</li> <li>・現地でのキャンバー調整が可能なこと。</li> <li>・溶接との併用継手、調整部材の継手。</li> <li>・パイロットホールの不要な継手に限り可能。</li> <li>・重複仮組立しない工区境。</li> <li>・落とし込みブロック。</li> <li>・多点支持の場合。</li> <li>・増設桁。</li> <li>・必要ドリフトピン数以外とする。</li> </ul>
	2)特定の架設工法に限り適用可能である。		<ul style="list-style-type: none"> <li>・TCベント、地組一括。</li> <li>・架設キャンバー系が異なる継手。</li> <li>・ケーブルエレクションの閉合部。</li> <li>・落とし込み桁。(セットバックできない)</li> <li>・桁連結工。</li> </ul>
	3)架設工法に関係なく困難である。		

質問 No.	回答例	集計	意見
		(%)	
6. 拡大孔を採用した場合の問題点を3つ挙げて下さい。			<ul style="list-style-type: none"> <li>11 ・架設後のキャンバー管理・調整、出来形精度管理困難(キャンバー・通り・出入り・桁ずれ・桁間隔)・精度管理に時間手間CostUp。</li> <li>11 ・ドリフトピン、仮締ボルトの管理が煩雑。(2種類)</li> <li>4 ・パイロットホールを設けない場合、ドリフトピンで架設形状が決まらない。パイロットホールを確実に決める。鈹桁・箱桁にそれぞれ位置を分ける。</li> <li>3 ・設計継手耐力・孔引き強度。</li> <li>2 ・「製作精度に自信がないのか？」と問いつめる客先がある。客先にどう認識させる。 ・パイロットホールの意味をなさない時がある。(ピン2の位置ずれ)</li> <li>1 ・添接部の他の孔の誤差が大きくなる。</li> <li>1 ・スプライスの板こぼの目違いが発生しやすい。</li> <li>1 ・孔修正が生じた時の縁不足。</li> <li>1 ・孔修正が生じた時ワッシャーでカバーできるか。</li> <li>1 ・形状確保に拡大孔が必要と思わない。</li> <li>1 ・拡大孔においてもφ26.5のドリフトピンを使用するため普通孔と同じことになる。</li> <li>1 ・孔数の1/6以上ドリフトピンの使用規定がある。</li> <li>1 ・ボルト、座金サイズの拡大。</li> <li>1 ・取り扱い重量(径が大きくなる)が重くなり、作業性が少し悪い。</li> </ul>
7. 拡大孔を積極的に適用したい継手がありますか？	1)ある	<p>A pie chart with two segments. The larger segment, representing 82% (1), is filled with a dense dot pattern. The smaller segment, representing 18% (2), is filled with a sparse dot pattern.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・二次部材、鋼床版縦継手。</li> <li>・縦リブ、横桁。(但し、製品精度を下げて良いという条件ではない)</li> <li>・縦リブ、縦桁等、全体形状に影響の少ない部材。落とし込み、調整部材。</li> <li>・斜橋の横桁。</li> <li>・一括架設、剛結構造、溶接構造。</li> <li>・橋脚。</li> <li>・現場溶接とHTBの混合継手。</li> <li>・直橋の鈹桁で架設連数の多いもの。</li> <li>・縦リブ、ピンの打てないところ。</li> <li>・JV間の取り合い部。</li> <li>・補修工事。</li> </ul>
	2)ない		

質問 No.	回答例	集計	意見	
		(%)		
8. 仮組立省略工 事を実際に仮設 して何か問題が 生じましたか？	1)特に、問題は生じな かった。	4 22 %	1 20 %	・知る限りでは大きな問題はなかった。一部リーミン グはあったかもしれないが、従来でもあったと思う。
	2)ボルトが取れず、整孔 作業が発生した。		<ul style="list-style-type: none"> <li>・付属品の取り合い、孔位置。</li> <li>・付属物(排水、検査路等)の取付ピース位置の違い。結果、(客先に請求できない)現場での費用が発生</li> <li>・付属物などが取付できなかった。(ガセットに当たる</li> <li>・対称省略図面を読み取れず、誤作発生。</li> <li>・溶接継手の場合、ストロングバックが現場で取り付け直しが多い。</li> <li>・添接板の付け間違い。</li> <li>・検査時の計測項目が増える。</li> <li>・桁の通りが出ない。</li> <li>・張り出し架設中の形状と製作時データが整合しな</li> <li>・ベント等の仮受点が増加した。</li> </ul>	
	3)キャンバーの許容値に 入れるため調整作業が発 生した。			
	4)その他のトラブル			

## 1-4 精度・設計基準の国際比較

高力ボルト摩擦接合継手に関して、各国規準の主要項目について比較を行い、その相違点についてまとめた。<sup>3) 4)</sup> 対象とした規準は以下の通りである。

- ・道路橋示方書 (H14.3)<sup>5)</sup>
- ・建築工事標準仕様書 JASS6 (1982)<sup>6)</sup>
- ・アメリカの AISC (1978)<sup>7)</sup>
- ・アメリカの AASHTO (1983)<sup>8)</sup>
- ・ドイツの DIN 18800 (1981、1983)<sup>9)</sup>
- ・イギリスの BS 5400 (1989)<sup>10)</sup>
- ・ヨーロッパの ECCS (1985)<sup>11)</sup>

以下、これらの規準をそれぞれ「道示」、「JASS」、「AISC」、「AASHTO」、「DIN」、「BS」、「ECCS」と略する。

### 1-4-1 精度基準

各規準における精度規準を比較した結果を表 1-5 に示す。

#### 1) 孔径の基準値

道示ではボルト公称径  $d$  に対してプラス 2.5mm としている。解説によれば、「摩擦接合の応力伝達機構からいって、リベット孔に比べて孔径を緩和することが可能であり、加工、組立のうえでの有利さを考慮して、その量を 1.0mm 緩和した」と理由づけている。一方 JASS では、橋梁より 1.0mm 小さい、 $d + 1.5\text{mm}$  を規定しているが、これはリベットに対する規定値と同一である。JASS が摩擦接合用高力ボルト孔についても、このような厳しい値を規定しているのは、建築基準法施行令に準拠しているためである。

アメリカの規準では AISC、AASHTO とも孔径の基準値を  $d + 1/16\text{inch}(1.6\text{mm})$  としている。DIN では基準値を  $d + 2.0\text{mm}$  としている。BS は、M24 以下のボルトに対して  $d + 1.0\text{mm}$ 、M24 を超えるものに対しては  $d + 1.5\text{mm}$  と規定しているが、締め付ける材片数が 3 枚を超える場合、外側の 2 枚は同様であるが内側の板については  $d + 3.0\text{mm}$  の孔径を認めている。ECCS では、M24 以下のボルトに対して  $d + 2.0\text{mm}$ 、M24 を超えるものに対しては  $d + 3.0\text{mm}$  と規定している。

#### 2) 孔径の許容差

道示では原則として孔径  $+0.5\text{mm}$  であるが、1 ボルト群の 20% に対しては  $+1.0\text{mm}$  までを許容している。許容差の  $0.5\text{mm}$  については、「引張部材の断面控除寸法が  $d + 3.0\text{mm}$  であることを考慮した結果である」と解説されている。20% の例外規定についての根拠は示されていないが、リベットの項の解説にあるように、リーマ通しによって若干孔径が大きくなることを考慮した結果であることは明らかである。

JASS においては、単独孔としての孔径許容差は規定されていない。国外の規準は DIN を除いて規定がない。DIN については M18～M30 で  $0\text{mm} \sim +0.13\text{mm}$

と非常に厳しい値となっている。

表1-5 精度基準の比較

d : ボルトの呼び径

基準	項目	孔径基準値	孔径の許容差	孔ずれ許容差	貫通率・停止率
	道路橋示方書 鋼橋編 H14.3 日本道路協会	M20~24 : d + 2.5mm	+0.5mm 但し、1ボルト群の 20%に対しては+ 1.0mmまで認める	1.0mm以下	標準孔 (M20~M24) d + 1.0mmのゲージ が100%貫通 d + 3.0mmのゲージ が80%以上停止 拡大孔 d + 1.0mmのゲージ が100%貫通 d1 + 0.5mmのゲージ が80%停止 d1 : 過大孔径
	建築工事標準仕様書 JASS6 鉄骨工事 1982 日本建築学会	d < 20mm d + 1.0mm d ≥ 20mm d + 1.5mm	規定無し	2.0mm以下は整孔可 能	規定無し
	AISC 1978	最大値 d + 1/16inch (1.6mm)	規定無し	規定無し	規定無し
	AASHTO 1983	最大値 d + 1/16inch (1.6mm)	規定無し	1ボルト群の85%の 孔がリーミング後に 1/32inch (0.8mm)を 超えてはならない。	パンチ孔、サブドリ ル孔についてのみ規 定有り
	DIN18800 Teil 1 (1981) Teil 2 (1983)	d + 2.0mm	DIN7154を満足する こと M18~30 : 0~ +0.13mm	正確に組み立てる。 食い違いが生じた場 合はドリルまたは リーマーによって修 正する。	規定無し
	BS5400 Pt. 3 BS5400 Pt. 6 1989	材片数 3枚まで d ≤ 24mm : d + 1.0mm d > 24mm : d + 1.5mm 材片数 3枚を超える 場合 外側 2枚 : 上記 中側の板 : d + 3.0mm	規定無し	ボルトが自由に挿入 可能なこと。	規定無し
	ECCS	d ≤ 24mm : d + 2.0mm d > 24mm : d + 3.0mm	未確認	未確認	未確認

### 3) 孔ずれの許容差

道示では 1.0mm 以下と規定している。これもリベットの許容値の 2 倍を採ったと解説されている。JASS では、「2mm 以下の孔ずれは現場で整孔できる」と規定されているので、事実上 2.0mm とみなすことができる。

国外では数値的に明確に規定されているものは AASHTO のみであり、「1 ボルト群の 85%の孔がリーミング後に 1/32inch(0.8mm)を超えてはならない」となっている。

#### 4) 貫通率・停止率

貫通率について道示では、 $d + 1.0\text{mm}$  の貫通ゲージが 100%貫通することを義務付けている。したがって、M22 に対する組合せ孔の最小径は 23.0mm ということになり、高力ボルトの軸部公称孔径の JIS 規格(22.8mm)をクリアする内容である。JASS ではこの規定は定められていない。

停止率は拡大孔の禁止規定に他ならない。道示では、 $d + 3.0\text{mm}$  の停止ゲージが、1 ボルト群の 80%以上のボルト孔で停止することを規定している。JASS では上記貫通率と同様、停止率の規定がない。

国外の規準類には AASHTO がパンチ孔とサブドリル孔について規定している以外は貫通率・停止率は規定されていない。

### 1-4-2 拡大孔関連規定

各規準における拡大孔関連規定の比較を表 1-6 に示す。

#### 1) 拡大孔

道示では、「施工上やむを得ない場合  $d + 4.5\text{mm}$  まで拡大可能」と規定されているが、JASS においては拡大孔に関する規定はない。

一方国外では、許容耐力の低減を条件に拡大孔が認められている。AISC では“Specification for Structural Joints Using ASTM A325 or A490 Bolts”という別規定の中で、拡大孔の使用を認めている。その内容は、高力ボルトの許容耐力を約 85%に落すことを前提として、公称径( $d$ )が 7/8in の場合、 $d + 3/16\text{in}(d + 4.8\text{mm})$ の拡大孔の使用を認めるというものである。AASHTO においても、AISC と同様高力ボルトの耐力を落すことを前提に、拡大孔の使用を認めている。DIN でも静的荷重が支配的な場合は許容耐力を 80%に減じることによって、 $d + 3.0\text{mm}$  までの拡大孔の使用を認めている。BS では拡大孔に関する規定は見当たらない。

#### 2) スロット孔

道示、JASS とも規定されていない。

AISC では過大孔と同じ別規定で、ショートスロット孔およびロングスロット孔の使用を認めている。許容耐力は、前者で 85%、後者で 70%である。孔寸法に関する内容も与えられている。AASHTO においても、ショート、ロング両スロット孔の使用が認められている。BS、ECCS についても許容耐力低減を条件に認められており、孔の大きさも規定されている。DIN においては、スロット孔そのものに関わる規定は見当たらない。

表1-6 拡大孔関連規定の比較

d : ボルトの呼び径

基準	項目	拡大孔	スロット孔	
道路橋示方書 鋼橋編 H14.3 日本道路協会		施工上やむを得ない場合 d + 4.5mmまで可能 1) 仮組立時リーミングが難しい場合 2) 仮組立の形状と架設時の形状が異なる場合	規定無し	
建築工事標準仕様書 JASS6 鉄骨工事 1982 日本建築学会		規定無し	規定無し	
AISC 1978		許容耐力を85%とする条件で d + 3/16inch (4.8mm) の拡大孔を使用可能	許容耐力85%への低減でショートスロット孔の使用可能 許容耐力70%への低減でロングスロット孔の使用可能	
AASHTO 1983		許容耐力を85%とする条件で d + 3/16inch (4.8mm) の拡大孔を使用可能	許容耐力85%への低減でショートスロット孔の使用可能 許容耐力70%への低減でロングスロット孔の使用可能	
DIN18800 Teil 1 (1981) Teil 2 (1983)		許容耐力を80%とする条件で d + 3mmの拡大孔を使用可能	規定見あたらず	
BS5400 Pt. 3 BS5400 Pt. 6  1989		許容耐力を85%とする条件で d + 5~8mmの拡大孔が使用可能 耐力低減係数=0.85 d ≤ 22 d + 5mm d ≤ 27 d + 6mm d ≥ 30 d + 8mm	ショートスロット孔 耐力低減係数=0.85 M16 18×22 M20 22×26 M22 24×28 M24 26×32 M27 30×35 M30 33×40	ロングスロット孔 耐力低減係数=0.70 M16 18×40 M20 22×40 M22 24×55 M24 26×60 M27 30×70 M30 33×80 M36 39×90
ECCS		許容耐力を85%とする条件で d + 4~8mmの拡大孔が使用可能 耐力低減係数=0.85 d < 24 d + 4mm d = 24 d + 6mm d ≥ 27 d + 8mm	ショートスロット孔 標準孔径 × (拡大孔 + 2mm以内) 耐力低減係数=0.85	ロングスロット孔 標準孔径 × 2.5 d 以内 耐力低減係数=0.75

### 1-4-3 設計基準

各規準における設計基準の比較を表 1-7 に示す。

#### 1) 引張部材の断面控除

道示および JASS においては総断面積から孔径を引いた純断面積を有効断面積とし、この断面に対する引張応力度が許容応力度以下になるようにしている。改訂された道示（平成 14 年 3 月）では、「摩擦接合では総断面積を超えない範囲で純断面積の 1.1 倍を有効断面積として良い」となり、有効断面積の割り増しが認められた。

AASHTO および BS では有効断面積は純断面積より大きいものとなっている。DIN では純断面積を有効断面積としているが、荷重の一部が摩擦作用により伝達されているものとしている。



表1-7 設計基準の比較

d : ボルトの呼び径

基準	項目	引張部材の断面控除	すべり係数の最小値	すべりに対する安全率
	道路橋示方書 鋼橋編 H14.3 日本道路協会	総断面積から下記寸法を控除した純断面積を有効断面積とする 標準孔 : $d + 3.0\text{mm}$ 拡大孔 : $d + 0.5\text{mm}$ ※摩擦接合では総断面積を超えない範囲で純断面積の1.1倍を有効断面積として良い。	0.4 : 黒皮を除去して祖面とする。	1.7 : 許容応力度に対する安全率と同じと考える。
	建築工事標準仕様書 JASS6 鉄骨工事 1982 日本建築学会	M10~16 : $d + 1.0\text{mm}$ M18~22 : $d + 1.5\text{mm}$	0.45 : 黒皮を除去した後、屋外に自然放置して発錆させた赤さび状態とする。	1.5 : 長期荷重に対して 1.0 : 短期荷重に対して
	AISC 1978	$d + 1/16\text{inch}$ (1.6mm)	0.35	1.33 : 作用荷重設計法 1.00 : 強度設計法
	AASHTO 1983	$d + 1/16\text{inch}$ (1.6mm)	0.33 : 清浄な黒皮状態 0.50 : ブラスト処理	未確認
	DIN18800 Teil 1(1981) Teil 2(1983)  BS5400 Pt. 3 BS5400 Pt. 6  1989	DIN1050, 1073により欠損考慮 ( $d + 2.0\text{mm}$ )  ボルト孔実寸法を控除	0.50 : St37鋼材 0.55 : St52鋼材  0.45 : 暴露面 0.50 : ショットブラスト面 0.50 : アルミ溶射面 0.35 : ジンリッパイント面 0.25 : エッチングプライマー面 ※原則として規定のすべり試験により決定する。	1.40 : 主荷重に対して 1.25 : (主荷重 + 従荷重) に対して  1.20 : 使用限界状態 1.43 : 終局限界状態
	ECCS	未確認	未確認	未確認

2) すべり係数の最小値

すべり係数の値は摩擦面の処理方法によって大きく異なる。我が国においては一般に、黒皮を除去して摩擦面を相面とした場合のすべり係数は 0.4 以上の値が、また、黒皮を除去した後、屋外にて自然放置により赤錆状態とした場合においても 0.45 以上の値が確保されていることが知られている。したがって、道示では前者の処理方法に対してすべり係数を 0.4、JASS では後者の処理方法に対して 0.45 としている。そして、ブラスト処理の摩擦面に対しても、設計上は同様のすべり係数としている。

AASHTO では黒皮状態のままの摩擦面、BS ではアルミ溶射やエッチングプライマーの摩擦面に対するすべり係数が規定されている。我が国以外の各国の規準では、ブラスト処理の摩擦面に対してはすべり係数 0.5 を規定している。また、BS では規定されたすべり試験によってすべり係数を決定してもよいとなっている。

### 3) すべりに対する安全率

我が国の道示における鋼橋の設計法は、許容応力度設計法の考え方に基づいている。そして、すべり耐力が許容応力度の基準となる降伏点に相当すると考え、すべりに対する安全率を許容引張応力度に対する安全率と同じ 1.7 としている。JASS では、長期荷重に対して 1.5、短期荷重に対して 1.0 である。

AASHTO のすべりに対する安全率は、作用荷重設計法で 1.33 である。また、強度設計法では、設計フォーマットが作用荷重設計法と異なり、安全率の考え方が本質的に違っているが、安全率は 1.0 である。BS では限界状態設計法が導入され、使用限界状態、終局限界状態のそれぞれについて安全性を照査することとなっている。このときの安全率は、使用限界状態に対して 1.2、終局限界状態に対して 1.43 となっている。DIN では、荷重の種別によって 1.40 あるいは 1.25 としている。

## 1-5 すべり／降伏耐力比 $\beta$

### 1-5-1 $\beta$ の考え方

引張荷重が作用する高力ボルト摩擦接合継手部の現行の設計法では、2つの限界状態すなわちすべり限界および母材または添接板の降伏限界について、それぞれ独立に照査している。しかし、作用外力によって母材および添接板の引張材の応力が降伏応力に達すると、ボルト孔を通る断面においてポアソン効果により板厚が減少し、これによりボルト軸力が減少する。その結果、摩擦伝達力が減少し、すべりが発生する。

つまり、すべり現象と降伏現象とは独立したものではなく、相互に影響を及ぼしている。したがって、高力摩擦接合継手の設計においては、この相互の影響を考慮した上で、すべり限界と降伏限界の区分を明確にする必要がある。この2つの限界の関係を表すパラメータとして(1-1)式で表されるすべり／降伏耐力比  $\beta$  が一般に用いられている。

$$\text{すべり／降伏耐力比 } \beta = N_s / N_y \quad (1-1)$$

$$\text{すべり耐力 } N_s = \rho_a * m * n * \nu$$

$\rho_a = 1/\nu * \mu * N$  : ボルト許容力

$N = \alpha * \sigma_y * A_e$  : 設計ボルト軸力

m : 摩擦面数

n : ボルト本数

$\nu$  : 安全率

$\sigma_y$  : ボルト耐力

$\mu$  : すべり係数

$\alpha$  : 降伏点に対する比率

$A_e$  : ねじ部有効断面積

降伏耐力 (母材)  $N_{by} = A_{by} * \sigma_y$   
 (添接板)  $N_{sy} = A_{sy} * \sigma_y$   
 $A_{by}$  : 母材の総断面積からボルト孔の断面積を控除した純断面積  
 $A_{sy}$  : 添接板の総断面積からボルト孔の断面積を控除した純断面積  
 $\sigma_y$  : 鋼材の降伏強度

$\beta < 1.0$  : すべり先行タイプ

母材及び添接板が弾性状態において接触面のすべりが生じる。

$\beta = 1.0$  : すべり-降伏複合タイプ

母材および添接板の降伏と接触面のすべりが同時に生じる。

$\beta > 1.0$  : 降伏先行タイプ

母材と添接板の接触面のすべりが発生する前に、母材、又は添接板の降伏が生じる。

#### 1-5-2 実橋の $\beta$ 調査報告

各鋼橋製作会社により実際に架設された橋梁に用いられた継手のすべり/降伏耐力比  $\beta$  の値を調査した。その内訳は、一般橋梁 142 継手、ガイドライン橋梁 221 継手、JH 合理化橋梁 76 継手である。

一般橋梁、ガイドライン橋梁、JH 合理化橋梁の継手を母材と添接板に分け、すべり/降伏耐力比  $\beta$  の調査結果をグラフ図 1-1 と表 1-8 に示す。

すべり/降伏強度比  $\beta$  が 1.0 以上の継手が全体の約 70%を占めている。このことは、継手の耐力が降伏強度によって決まることが多いことを意味している。なお、添接板については、母材のすべり/降伏強度比  $\beta = 1.07 \sim 1.11$ (平均)に比べ、添接板断面積を母材断面積以上と安全側の設計がされていることが多いことから、添接板のすべり/降伏強度比  $\beta = 0.98 \sim 1.04$ (平均)と小さな値になっている。

表 1-8 すべり/降伏強度比の分布

	全データ数	$\beta < 1.0$	$1.0 \leq \beta \leq 1.3$	$1.3 < \beta$
一般橋梁	142	46(32%)	85(60%)	11(8%)
ガイドライン橋梁	221	63(28%)	132(60%)	26(12%)
JH 合理化橋梁	76	29(38%)	31(41%)	16(21%)
合計	439	138(31%)	248(57%)	53(12%)

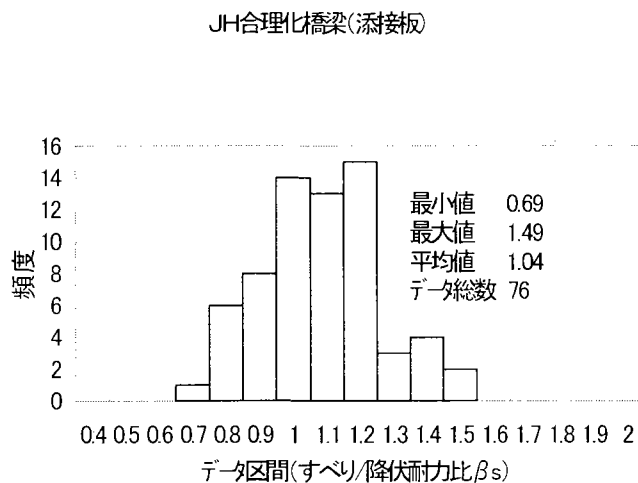
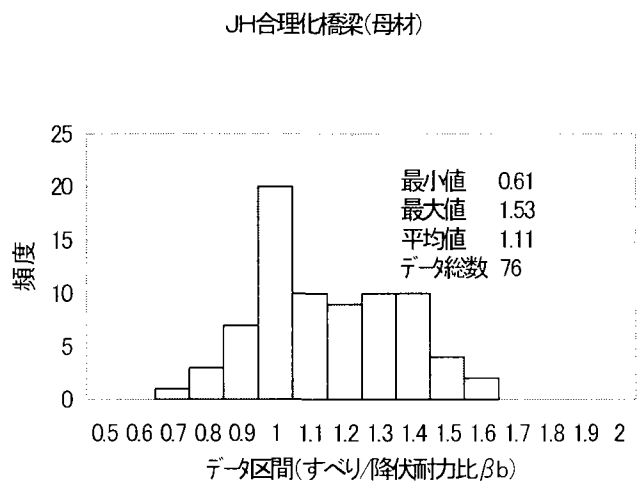
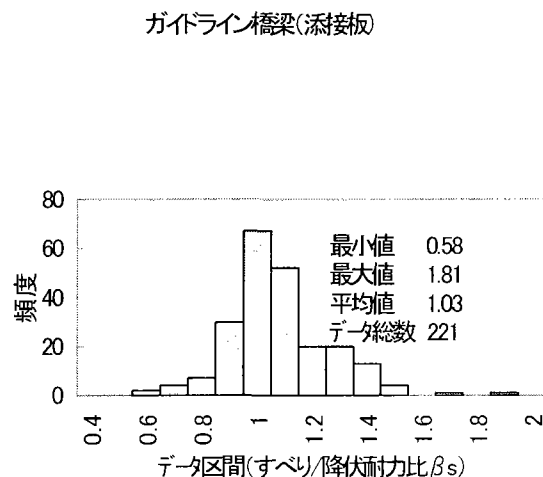
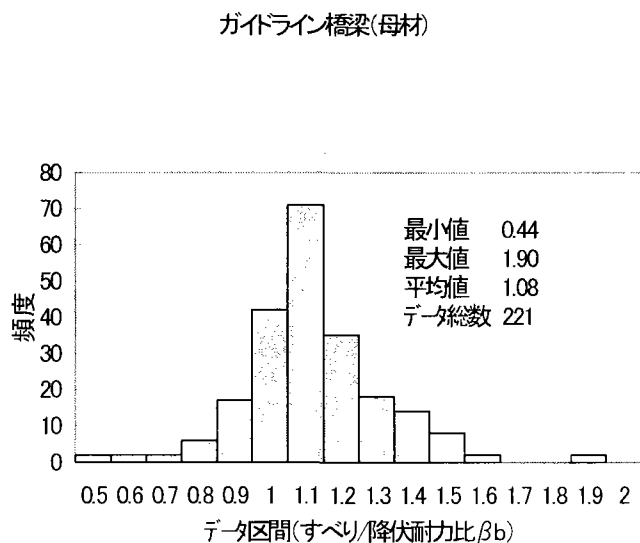
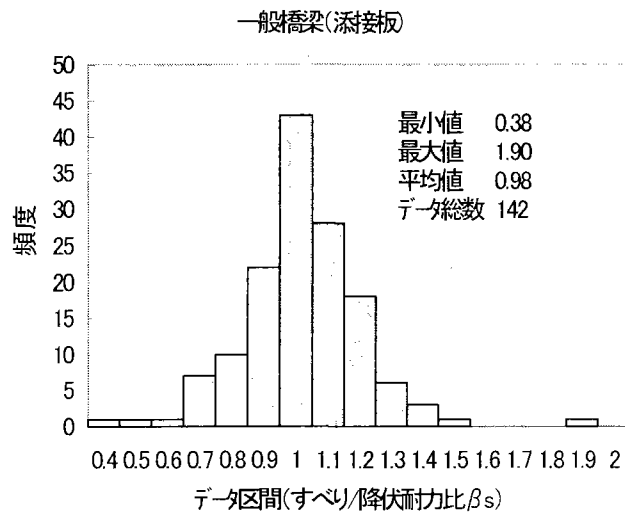
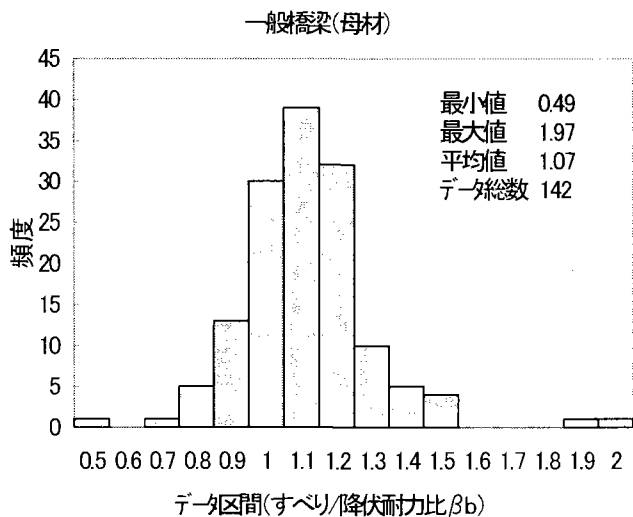


図1-1 すべり/降伏耐力比 $\beta$

## 1-6 拡大孔に関する既往の研究

拡大孔を有する高力ボルト摩擦接合継手に関しては、これまでもいくつかの研究がなされている。それらの文献の概要について表 1-8 に示す。そのなかで今回の研究でも着目している“すべり/降伏耐力比”について記述のあった①「過大孔を有する高力ボルト摩擦接合部の性状について（藤本盛久、田中淳夫：日本建築学会関東支部研究報告集、昭和52年度）」<sup>12)</sup>、②「過大孔・スロット孔を有する高力ボルト摩擦接合部に関する実験報告書（日本鋼構造協会、1998年3月）」<sup>13)</sup>について以下に示す。

また、高力ボルト摩擦接合継手の拡大孔に関する既往の研究について表 1-9 にまとめた。

### 1-6-1 「過大孔を有する高力ボルト摩擦接合部の性状について」

#### 1) 実験内容

- ① 鋼材 SM490
- ② 使用ボルト F10T-M20
- ③ 接合部 1行多列型－2面摩擦接合  
接合面はブラスト+赤錆（すべり係数 $\mu$ を0.6程度として設計）
- ④ パラメーター a)すべり/降伏耐力比 $\beta=0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6$   
※すべり耐力は実験にて得られた数値を使用  
b)孔径  $d+1.5, d+3.0, d+5.0$   
c)接合部のボルト本数 2、4、6

#### 2) 結論

- ① すべり/降伏耐力比 $\beta$ の増加にともないすべり係数 $\mu$ が直線的に減少する
- ② 孔径は+5 mm程度まではすべり/降伏耐力比 $\beta$ に影響を与えない
- ③ すべり係数 $\mu$ の実験値と計算値の関係を求めることで、すべり/降伏耐力比 $\beta > 1.0$ の接合部の設計が可能である

### 1-6-2 「過大孔・スロット孔を有する高力ボルト摩擦接合部に関する実験報告書」

#### 1) 実験内容

- ① 鋼材 SN400B, SN490B
- ② 使用ボルト F10T, S10T, メッキ高力ボルト - M16, M20, M22
- ③ 接合部 1行多列型－1面 or 2面摩擦接合  
接合面はショットブラスト or ショットブラスト+赤錆
- ④ パラメーター a)すべり/降伏耐力比  $\beta=0.6, 0.8, 1.0, 1.2$   
b)孔径  $d+2, d+4, d+6$ 、スロット  
c)接合部のボルト本数 2、3

## 2) 結果

- ① すべり／降伏耐力比  $\beta$  の増加にともないすべり係数  $\mu$  が直線的に減少する
- ② 孔径が大きくなるとすべり／降伏耐力比  $\beta$  が大きくなり、すべり係数  $\mu$  が低下する
- ③ すべり／降伏耐力比  $\beta$  とすべり係数  $\mu$  の関係は試験時期、材料、摩擦面処理方法に影響されない

### ④ 実験より近似式として

$\mu = 0.819 - 0.258\beta$  が導かれた

すべり係数を 0.45 と設定していること、すべりという現象がばらつきやすいことを考えて、すべり/降伏耐力比  $\beta$  は 1.2 以下にすることが望ましい。また、このことから本研究では d+6 までの過大孔ではすべり荷重の低下は小さく問題ないを考える。

表 1-9 高力ボルト摩擦接合継手の拡大孔に関する文献一覧表

No	文 献 名	発行年月	記載文献	著 者	目 的
1	大きなボルト孔の摩擦継手のすべり耐力 <sup>14)</sup>	1969	土木学会第24回 年次学術講演会	田島・吉田 三塚・富沢	ボルトと孔に大きな余裕が許されればそれを積極的に利用した継手部の設計も可能であり、孔径がすべり耐力に及ぼす影響を調べる
2	過大孔を有する摩擦接合の力学的性状について <sup>15)</sup>	1971	土木学会第26回 年次学術講演会	西村・山野 石沢	過大孔による組立の作業能率や精度向上を期する実例が見られるが、孔の大きさ・孔縁のズレがすべり耐力及び疲労強度に及ぼす影響を調べる
3	高力ボルトの孔径が現場継手の耐力に及ぼす影響 <sup>16)</sup>	1989.10	土木学会第44回 年次学術講演会	池内・小松	近年構造物が複雑になるに伴い、施工上の理由からボルトの孔径を大きくする場合が増えておりボルト孔径が継手耐力に及ぼす影響を調べる
4	長孔・過大孔を有する継手のすべり試験 <sup>17)</sup>	1990.7	橋梁と基礎	福岡・安井 山下	大ブロック架設の両端剛結ブロックの母材に長孔・添接板に過大孔を採用した場合のすべり耐力を調べる
5	拡大孔を有する高力ボルト継手のすべり試験 <sup>18)</sup>	1998.6		日本橋梁 建設協会	拡大孔・Fill PL及び厚膜無機ジンを塗布した継手に関して全てを組み合わせた実験・文献が見当たらないので実験により確認する
6	合理化桁に関するデザインマニュアル <sup>19)</sup>	1998.8		日本鋼構造 協会	従来設計ではボルトの孔引きの影響により(板継溶接により)継手部のみ増厚する例が多く見られたが合理化設計ではこのことが一部材一断面の経済効果を減殺する可能性があり検討の余地がある。現場継手の設計・施工の合理化が必要である
7	過大孔・スロット孔を有する高力ボルト摩擦接合部に関する実験報告書	1998.10		日本鋼構造 協会	過大孔・スロット孔を使用した場合の高力ボルト摩擦接合の力学的性状に関する基礎的なデータを蓄積し、その結果に基づいてこのような接合部に関する適正な設計法を確立する