

設計法の変遷 1) 継手  
—HTB 継手の変遷と今後—

山口 隆司  
大阪市立大学教授

# HTB継手の設計の変遷と今後


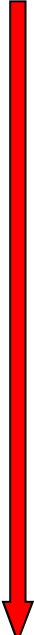

大阪市立大学大学院工学研究科  
都市系専攻 山口隆司

# 内容

- ・高力ボルトの歴史, 種類
- ・高力ボルト摩擦接合の基礎知識
- ・高力ボルト摩擦接合のすべり後挙動
- ・高力ボルト摩擦接合継手の設計基準の比較
- ・今後の接合部設計

# 高力ボルト

# 接合形式の推移

リベット	高力ボルト	溶接
<p>           ‘26_JES 第39号「鋳」            ‘49_JIS制定            ‘51_JIS B 1206~12                太径リベット規定            ‘57_JIS B 1214                熱間成形リベット            1970年 衰退            溶接工学の進歩            高力ボルトの普及            H鋼の本格的な生産            リベット工の不足         </p> 	<p>           1955年 普及            ‘64_JIS B 1186                ボルトナット関連規定            ‘65_日本道路協会                摩擦接合設計施工指針            ‘81 JSS II09                トルシアボルトの規格制定         </p> 	<p>           1920年 導入            ‘31_国鉄                電弧溶接設計製作示方書            ‘31~40_橋梁の溶接補修                1300連のプレートガーダー            ‘41_臨JES 第196号                鋼材用電弧溶接棒            ‘50_JIS Z 3211                軟鋼用被覆アーク溶接棒            ‘75_CO<sub>2</sub>半自動溶接の拡大            ‘80_溶接ロボットの普及         </p> 

# 高力ボルトの歴史

昭和30年代中頃:高力ボルトの使用が始まる.

1964年:JISB1186 摩擦接合用高力六角ボルト・六角ナット・平座金のセットの制定(F7T, F9T, F11T, F13T, ウィットねじ)

1967年:JISB1186においてF13T削除 ← 遅れ破壊

1970年:JISB1186においてメートルねじの採用

1979年:JISB1186においてF11Tが()付きに

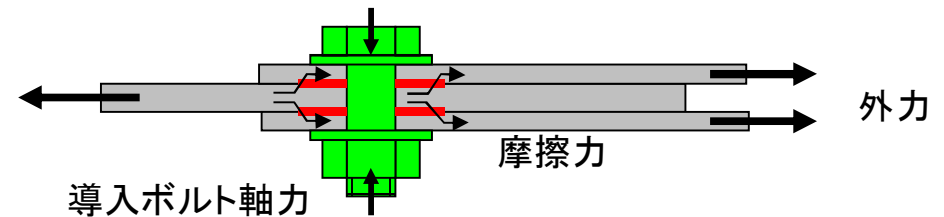
1981年:JSS II-09においてトルシアボルトの規格制定

1983年:道路協会規格 摩擦接合用トルシア形高力ボルト・六角ナット・平座金のセットの制定

# 高力ボルト接合の種類と荷重伝達機構

## 1) 摩擦接合

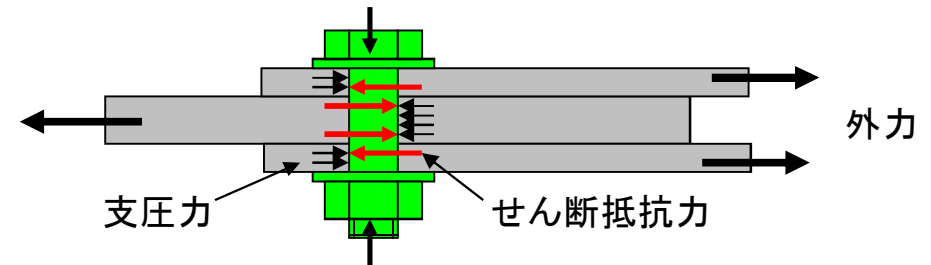
締付け力によって生じる摩擦力によって荷重伝達を行う接合。



## 2) 支圧接合

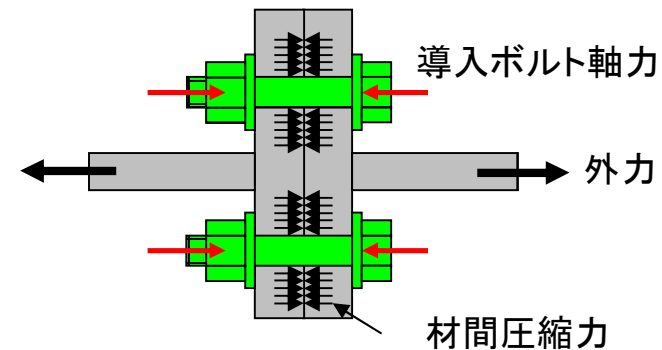
リベットと同様に、孔壁とボルト軸部との支圧、およびボルトのせん断抵抗によって荷重伝達を行う接合。

締付け力を導入する場合もあり、その場合、摩擦接合としての荷重伝達も行う。



## 3) 引張接合

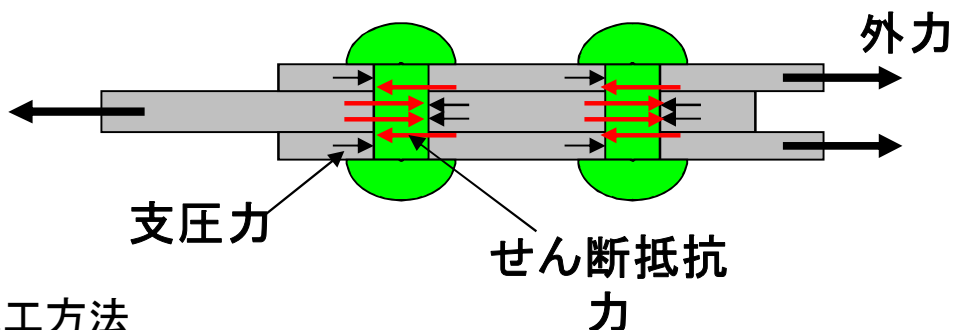
PC構造と同様に、荷重直角方向の継手面(接触面, 定着板)に高力ボルトを配置して、ボルト締め付けによって生じる材間圧縮力を介して荷重伝達を行う接合



# リベット接合

## 1. 荷重伝達機構

部材の孔壁とリベット軸部の支圧力により、リベットのせん断抵抗力を介して応力を伝達する。



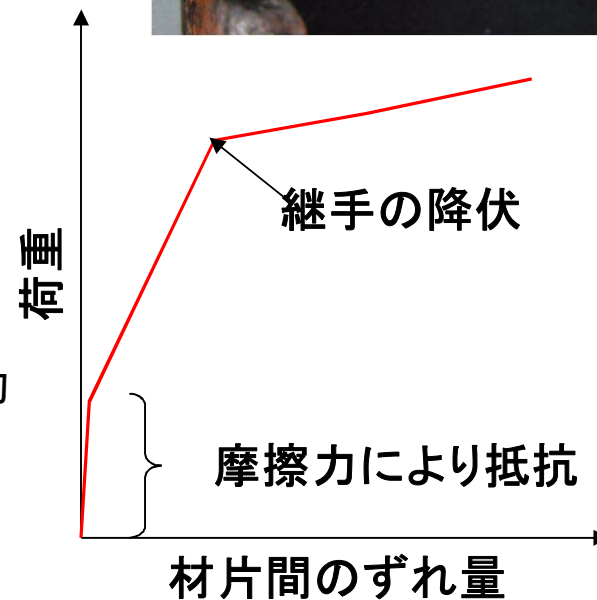
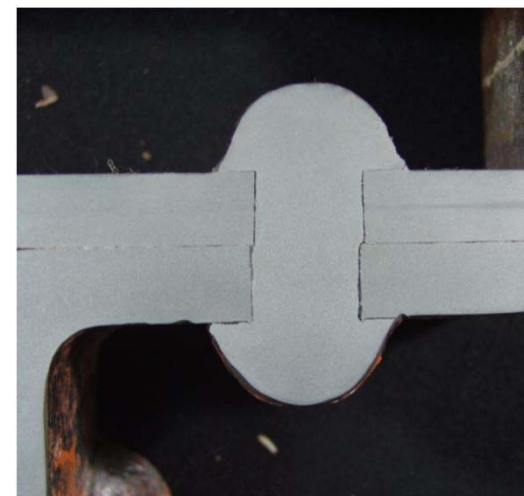
## 2. 施工方法

- ① 加熱リベット(900~1100°C)をリベット孔にさし込み、ジョーリベッターまたはリベットハンマでかしめる
- ② リベット締めは、リベット孔を完全に充填するよう打ち締める

## 3. 特徴

リベット接合では冷却に伴ってリベットが収縮するので、比較的大きな初期張力がリベットに導入される。

これにより接合材間に適度な材間摩擦力が生じる。





# 土木構造物における 高力ボルト接合関連の指針

摩擦接合のみの指針から出発

昭和41年 鋼道路橋高力ボルト摩擦接合設計施工指針  
解説 ((社)日本道路協会)

昭和39年の高力ボルトのJIS化を受けて制定

特色: すべりに対する安全率として, 1.6を採用  
ボルト配置に関する規定はリベットに準じた.  
接触面は黒皮を除去し, 塗装してはならない.

昭和47年 道路橋示方書 II鋼橋編に吸収

# 土木構造物における 高力ボルト接合関連の指針

平成8年 **引張接合**が道路橋示方書 II鋼橋編の解説においてボルト接合の一形式として紹介される。

平成14年 引張接合が道路橋示方書 II鋼橋編の条文において規定される。

(ただし, これらは, 許容応力度設計法の書式で記述)

その他,

鉄道構造物設計標準(1992年版)

鋼構造物設計指針 一般構造物 Part A(1997年)

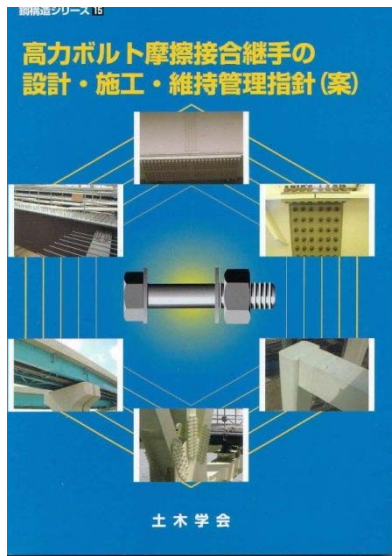
土木鋼構造物の性能設計ガイドライン(2001年)

(限界状態設計法(荷重抵抗係数設計法)の書式で記述)

# 土木構造物における 高力ボルト接合関連の指針

高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針(案)  
(2006年)(土木学会鋼構造委員会)

鋼・合成構造標準示方書 設計編(2016年, 7月改訂)  
(土木学会鋼構造委員会) (限界状態設計法) 部分係数設計法の書式で記述



接合面処理に応じたすべり係数の  
設定  
総すべりモーメントによる曲げモーメントの照査  
限界状態設計法による照査フォーマットの整備

# 建築学会の高力ボルト接合関連の指針等

- 鋼構造設計規準 1970(2005改訂) 許容応力度設計
- 高力ボルト接合設計施工指針 1972(1996改訂)
- 鋼構造塑性設計指針 1975(2017改訂) 塑性設計
- 鋼構造限界状態設計指針-同解説 1998(2010改訂) 使用限界-終局限界
- 鋼構造接合部設計指針 2001 接合部 (高力ボルト接合, 溶接接合)
- 鋼構造接合部設計指針 2006 接合部係数の充実, 見直し  
設計例の充実
- 鋼構造接合部設計指針 2012
- 建築工事標準仕様書 JASS6 鉄骨工事 2015
- 高力ボルト接合設計施工ガイドブック 2016

# 高力ボルト摩擦接合の基礎知識

力学的挙動, 設計法など

# 高力ボルト摩擦接合の特徴

- (1) 高強度のボルトに大きな軸力を導入することにより、材片間に大きな圧縮力が生じる。これによって得られる摩擦抵抗を利用して応力を伝達する。
- (2) 荷重伝達はボルト周辺に広く分布した摩擦力を介して行われるため、応力集中も少なく、応力の流れはスムーズであり、疲労強度も高い。
- (3) すべりが発生するまでは材片間にずれが生じないので、高い剛性が期待できる。
- (4) 接合面に生じる摩擦力は、接合面の状態（表面粗さ、肌すき、発錆状況、塗膜等）、および締め付け作業に影響される。そのため、十分な施工管理が必要である。
- (5) 高力ボルトは水濡れ、発錆が生じると、トルク係数が変化して締め付け軸力に変動が生じるとともに、水素の進入により遅れ破壊の原因ともなるので、保管管理には十分注意が必要である。

# すべり係数と静止摩擦係数

- すべり係数： $\mu$

$$\mu = \frac{F_{slip}}{N_0}$$

$F_{slip}$  …主すべり発生時の荷重

$N_0$  …設計ボルト軸力

- 静止摩擦係数： $\mu_s$

$$\mu_s = \frac{F_{slip}}{N_{slip}}$$

$N_{slip}$  …主すべり発生時の軸力

# 引張拳動を支配する力学パラメータ

- すべり／降伏耐力比 ( $\beta$ )
- すべり係数
- ボルト軸力

$$(\text{すべり耐力}) = (\text{すべり係数}) \times (\text{ボルト軸力}) \times (\text{接合面の数})$$



# 設計の基本

高力ボルト摩擦接合継手は、作用力以上のすべり耐力ならびに降伏耐力を有していなければならない。

すべり限界

$$\gamma_a \gamma_b \gamma_i \gamma_m \frac{P}{P_{SL}} \leq 1.0$$

$\gamma_a$  : 構造解析係数

$\gamma_b$  : 部材係数

部分係数の設定

降伏限界

$$\gamma_a \gamma_b \gamma_i \gamma_m \frac{P}{P_{ty(cy)}} \leq 1.0$$

$P_{cy}$  : 圧縮力を受ける場合の降伏耐力

現時点では、土木学会鋼構造委員会：鋼構造の限界強度の評価法に関する研究調査報告書，土木学会，2002.3を参考にできる。

# すべり係数

## 設計基準類におけるすべり係数の比較

規 格	分類数	すべり係数
日本道路協会：道路橋示方書・同解説, 2002	2	0.40
日本建築学会：鋼構造設計規準, 2002	2	0.45
日本建築学会：鋼構造接合部設計指針, 2001	8	0.23~0.45
鉄道総合研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説, 1992	2	0.40
Eurocode 3- Part2 : Steel Bridges and Plated Structures, 1998	6	0.20~0.50
ISO : ISO 10721-1, Steel Structures-Part 1 : Materials and Design, 1997	9	0.18~0.55
AASHTO : AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 1998	3	0.33~0.50
BS: BS5400, Part3, Code of practice for design of steel bridges, 1982	3	0.35~0.50
SSEA: SIA 161, Steel Structures, 1979	5	0.30~0.50
DIN: DIN18800 Teil 1, Stahblauten ; Bemessung und Konstruktion, 1990	3	0.50
Ministry of Transportation : Onatario Highway Bridge Design Code, 3rd ed. 1991	3	0.33~0.50

# すべり係数の設定

- ①すべり係数の推奨値をもとに決定
- ②標準すべり試験結果をもとに決定

## 接合面処理に応じたすべり係数の推奨値

接合面の処理	すべり係数	備考
赤錆状態	0.55	粗面仕上げの後に、健全な赤錆を発生させたもの。
薬剤による発錆	0.45	化学薬剤によって、健全な赤錆を発生させたもの。
粗面状態	0.25	ディスクグラインダーによって粗面とし、錆がないもの。
粗面状態	0.35 (表面粗さの指定なし)	ショットブラストまたはグリッドブラストによって粗面とし、錆がないもの。
	0.40 ( $10\mu\text{m} > R_a \geq 5\mu\text{m}$ )	
	0.45 ( $R_a \geq 10\mu\text{m}$ )	
無機 ジंकリッチペイント	0.40 (塗膜厚 $\leq 65\mu\text{m}$ )	合計塗膜厚を90~250 $\mu\text{m}$ とする。 塗料中の乾燥亜鉛含有量は80%以上を原則とする。
	0.50 (塗膜厚 $> 65\mu\text{m}$ )	合計塗膜厚を150~250 $\mu\text{m}$ とする。 塗料中の乾燥亜鉛含有量は80%以上を原則とする。
有機 ジंकリッチペイント	個別にすべり試験を行うなど、継手の性能を確認して決定する。	
熔融亜鉛めっき		
金属溶射		
機械的な粗面加工		

# 軸方向力が作用する継手

軸方向力を受ける高力ボルト摩擦接合継手は、接合面のすべり、母板および連結板の降伏に対して安全となるように設計する。

## すべり耐力

$$P_{SL} = \phi_s P_n \quad (4.3.1)$$

$P_n$  : 基本すべり耐力 =  $m \cdot n \cdot \rho_s$

$m$  : 接合面の数

$n$  : ボルト本数

$\rho_s$  : ボルト 1 本 1 接合面あたりの基本すべり耐力

$\phi_s$  : すべり耐力補正係数

ボルト 1 本 1 接合面あたりの基本すべり耐力  $\rho_s$ は、次式から求める。

$$\rho_s = \mu N \quad (4.3.2)$$

$\mu$  : すべり係数

$N$  : 設計ボルト軸力

すべり耐力は、必要に応じてすべり耐力補正係数によって補正を行う。

# 軸方向力が作用する継手

(1) 引張力を受ける摩擦接合継手の降伏耐力  $P_{ty}$  は、母板のボルト最外列ないしは連結板のボルト最内列において作用力の一部が摩擦により伝達されることを考慮して、次式に従い計算する。

$$P_{ty} = \phi_y \cdot P_{yn}$$

ただし、 $P_{ty} \leq P_{yg}$

(4.3.3)

- $P_{yn}$  : 母板ないしは連結板の純断面降伏耐力の小さい方
- $\phi_y$  : 降伏耐力補正係数 ( $\phi_y=1.1$ )
- $P_{yg}$  : 母板ないしは連結板の総断面降伏耐力の小さい方

(2) 圧縮力を受ける摩擦接合継手の降伏耐力  $P_{cy}$  は次式に従い計算する。

$$P_{cy} = \phi_y \cdot P_{yg}$$
(4.3.4)

- $P_{yg}$  : 母板ないしは連結板の総断面降伏耐力の小さい方
- $\phi_y$  : 降伏耐力補正係数 ( $\phi_y=1.0$ )

# 曲げモーメントが作用する継手

曲げモーメントが作用する高力ボルト摩擦接合継手は、継手全体のすべり、ならびに母板および連結板の降伏に対して安全となるように設計する。

$$M_{SL} = \Sigma(\phi_m \cdot \phi_s \cdot d_i \times \rho_{li}) \quad \text{総すべりモーメント法の採用} \quad (4.4.1)$$

$$\rho_{li} = \rho_s \times m \times n \quad (4.4.2)$$

$d_i$  : 中立軸から  $i$  行目高力ボルト図心位置までの距離  
(ただし、フランジ部においては板厚中心までの距離)

$\rho_{li}$  :  $i$  行のすべり耐力

$\rho_s$  : ボルト一本一接合面あたりの基本すべり耐力

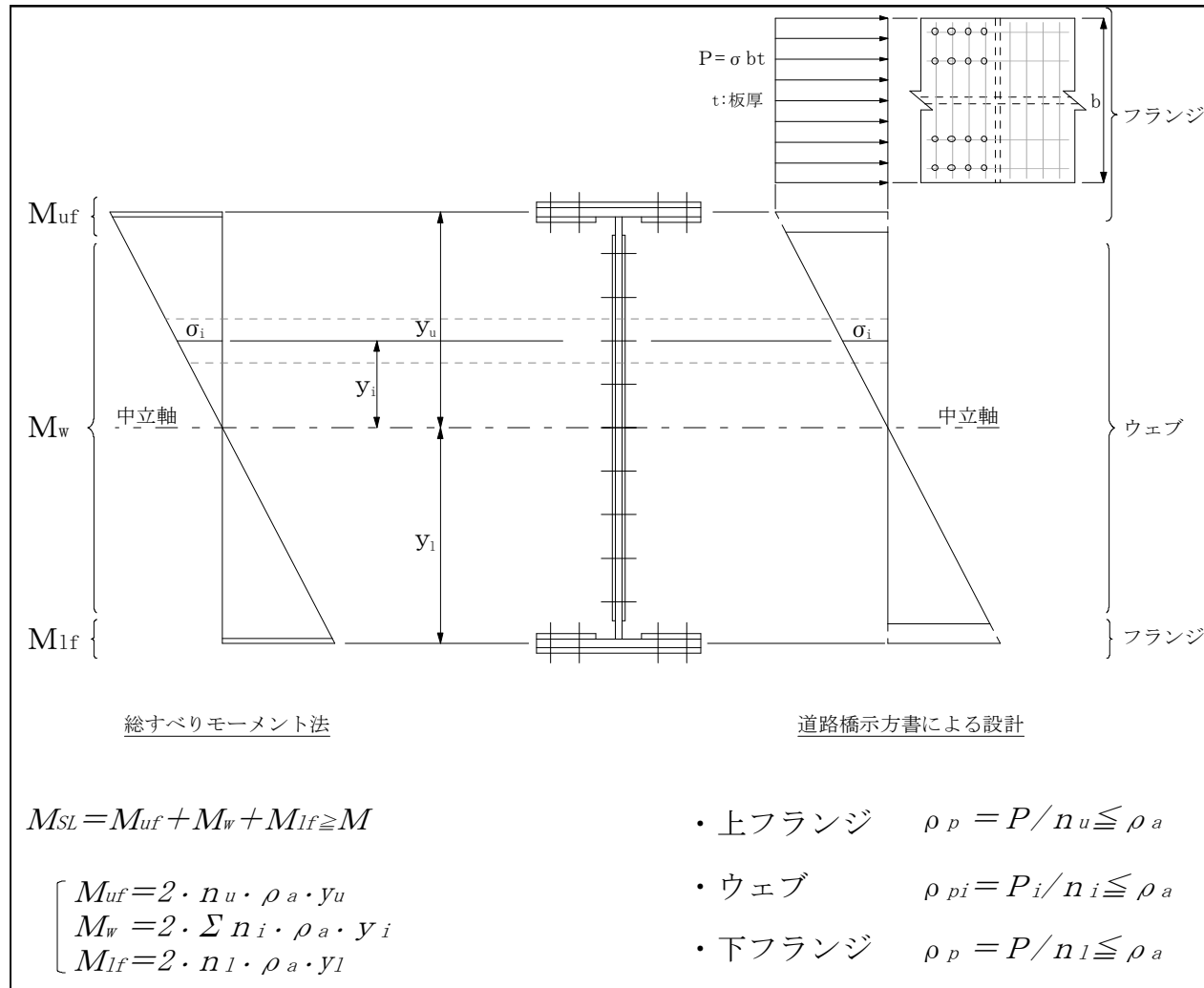
$m$  : 接合面の数

$n$  : 各ボルト行の高力ボルト本数

$\phi_s$  : すべり耐力補正係数

$\phi_m$  : すべり耐力補正係数 (曲げモーメント) (フランジ部 : 1.0, ウェブ部 : 0.8)

# 総すべりモーメント法



# すべり耐力の補正

高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力は、必要に応じて以下の項目に対し適切な補正を行う。ただし、以下に含まれない事項に対して補正を行う場合は実験もしくは解析により安全性を確認しなければならない。

- (1) 肌すき
- (2) フィラー
- (3) 拡大ボルト孔
- (4) 高力ボルトの多列配置
- (5) すべり／降伏耐力比( $\beta$ )

## •考え方

本指針(案)で推奨するすべり係数を用いる場合は、本指針(案)で推奨されるすべり係数が過去の実績、知見等に基づき、安全側に設定されていることも考慮し、基本的には行わない。ただし、上記の項目に対しては、一定の条件の下ですべり耐力に与える影響が大きく、補正を必要とする場合があるので、適切に補正を行う。



# すべり／降伏耐力比 $\beta$

$$\beta = \frac{N_{sl}}{N_{Yn}} = \frac{n \cdot \mu_s \cdot N_0}{A_n \cdot \sigma_y}$$

$N_{sl}$  … すべり強度 → 公称値

$N_{Yn}$  … 降伏強度

$n$  … 摩擦面の数

$A_n$  … 純断面積

$\sigma_y$  … 降伏点

公称値または

材料試験値

↓  
文献によって取り扱いに  
違いがある

# $\beta$ の実績値

(1) 厚板継手のすべり/降伏耐力比  $\beta$

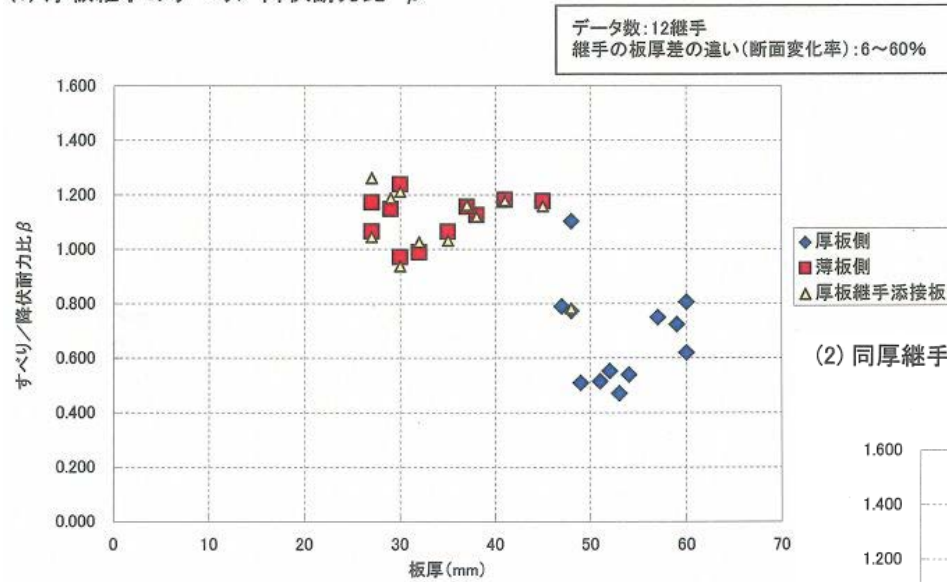


図-1 厚板継手のすべり/降伏耐力比  $\beta$  値実績

(2) 同厚継手のすべり/降伏耐力比  $\beta$

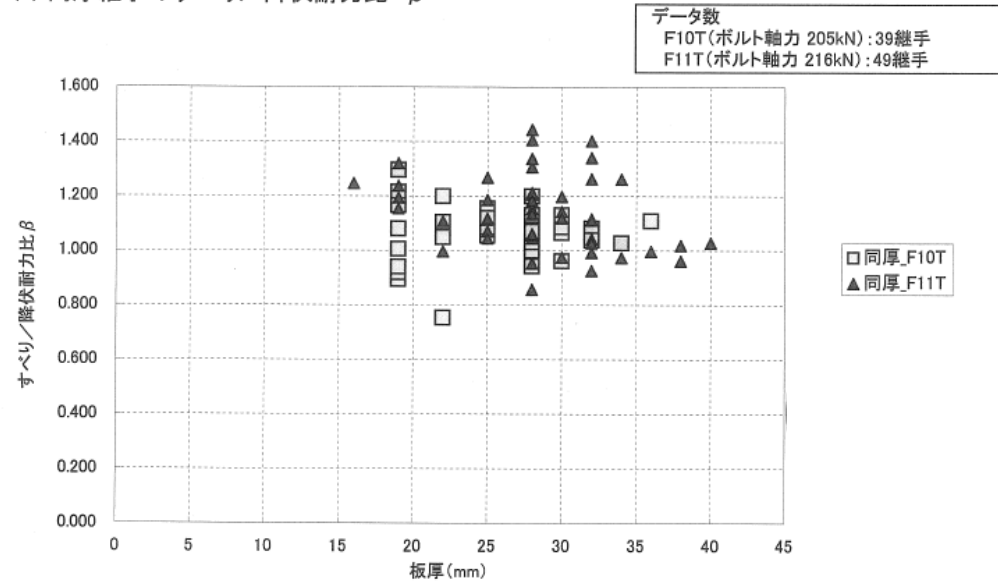
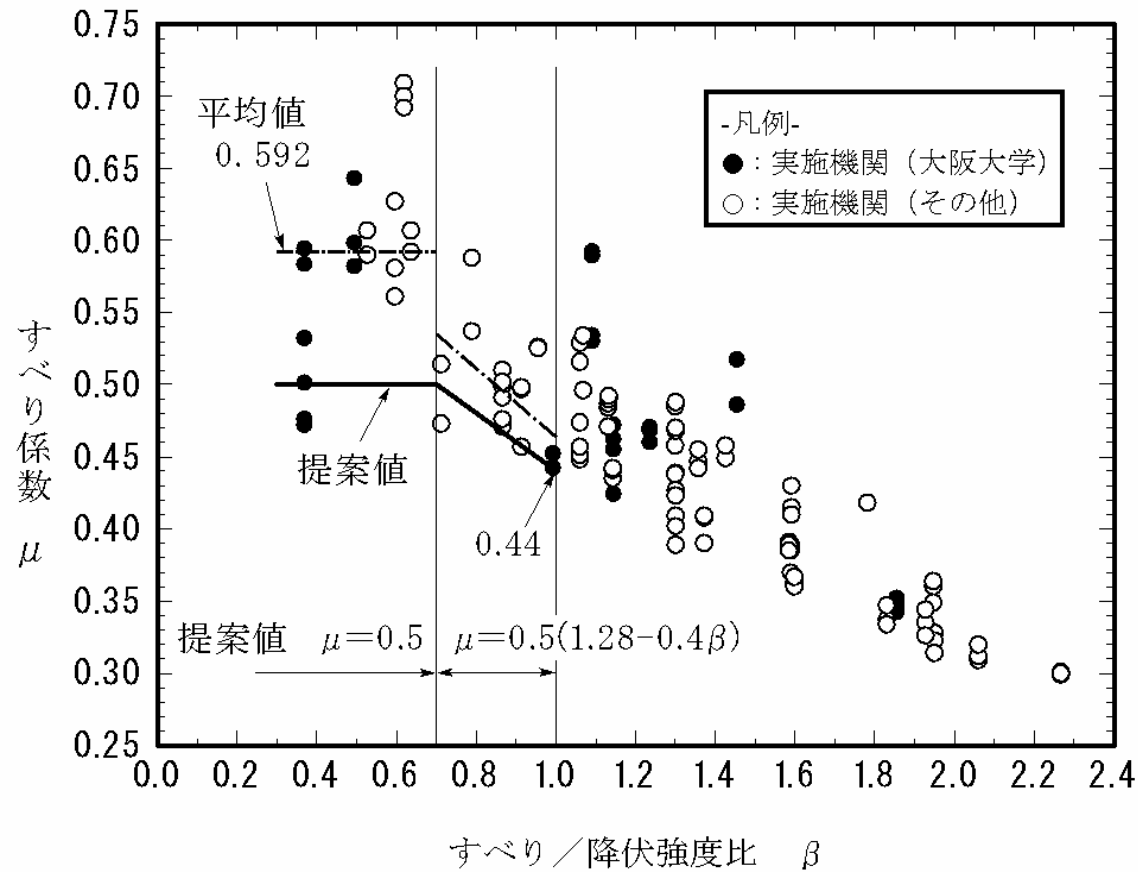


図-3 同厚継手(F10TおよびF11T)のすべり/降伏耐力比  $\beta$  値実績

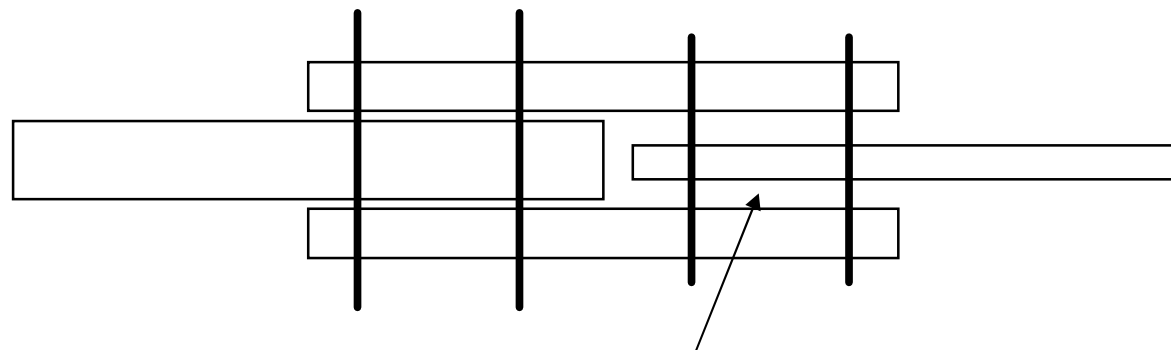
# すべり／降伏耐力比 $\beta$

すべり耐力／降伏耐力比 $\beta$ の定義:

(基本すべり耐力 $P_{SL}$ )を(純断面降伏耐力の設計値 $P_{yn}$ )で除した比



# 板厚差を有する継手構造の例



対策：フィラーの挿入

## 道路橋示方書(H14.3)

継手の肌隙について、以下のように規定されている

部材と連結板あるいは接合する材片同士は、締付けにより密着させ肌隙が生じないようにする

(17.5.4 ボルトの締付け)

# 板厚差に着目した既往の研究

- ・板厚差の継手の研究は、当初板厚公差の問題として建築関係で研究された(S40年代後半1mm=滑り耐力10%低下／薄板材での研究)
- ・建築学会は1mmまで許容.  $m = 0.45$
- ・道路橋関係は当初1mmを認めていたが、現在は「密着させる」との表現=0.40
- ・フィラーは、防錆上2mm以下の使用は避ける(道示)
- ・フィラーの材質は母材と同質材であったが、平成8年版の道示で一般構造用鋼材でOKと改正
- ・板厚差を有する摩擦接合の研究は昭和40年代に多く研究されたが、それ以降の研究例はほとんどない

# 肌隙

片面板厚差1mmの場合, 0mmに比べて10%すべり耐力が低下  
10%のすべり耐力の低下を許容すれば, 肌隙は1mmまで許容できる  
1mm以下の板厚差の場合, すべり耐力に対してフィラーの有無による有意な差はない.

すべり耐力の低下は, 連結板厚が厚くなるほど, ボルト列数が少なくなるほど大きくなる.

→片面板厚差が1mm以下の場合, 補正は必要ない.

肌隙によるすべり耐力の低下に影響を与える因子

肌隙, 連結板厚, 高力ボルト径, ボルト列数, 縁端距離

# フィラー

- フィラーを使用するにあたっては、二つの被接合部材の板厚の違いが**30%以下**であれば、すべり耐力の補正を行う必要はない。

被接合材の断面変化率が30%程度の範囲であれば、フィラーを用いない継手に対するすべり耐力の低下率は5%程度であり、断面変化率が50%を超える場合には、すべり耐力は著しく低下するとの報告がなされている。

母板の板厚中心に対して対称の場合は、フィラーを用いることによるすべり耐力の補正は考慮しなくともよい。

母板の板厚中心に対して非対称の場合、既往の実験によると、フィラーの存在によってフィラーが挿入されていない側の連結板に荷重伝達が偏る傾向があり、そのためすべり耐力が低下するとの報告がなされている。

## 最近の研究

高井, 彭, 山口: フィラープレートの板厚が高力ボルト摩擦接合継手の荷重伝達に与える影響に関する解析的研究, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 71, No. 1, pp.1-9, 2015.2

高井, 山口, 山階: 高力ボルト摩擦接合継手の目違いがすべり耐数に与える影響に関する解析的研究, 構造工学論文集, Vol.61A, 土木学会, pp.605-613, 2015.3

# 拡大ボルト孔

拡大孔に関する実験的・解析的検討の結果、

ボルトの呼び径M22に対してボルト孔径28.5mmまででは、すべり先行型の継手において拡大孔がすべり耐力に与える影響は小さい。

降伏耐力は、純断面で照査する。ただし、呼び径M22、孔径28.5mmまで、純断面積を1割り増しとすることができる。

と報告されている。

表 4.7.1 拡大孔によるすべり耐力の低減係数

	鋼接合指針 (2001年) <sup>7)</sup>	AASHTO (2002年) <sup>67)</sup>	Eurocode (2003年) <sup>68)</sup>
低減係数	0.85	0.85	0.85

表 4.7.2 長孔によるすべり耐力の低減係数

	AASHTO (2002年) <sup>67)</sup>	Eurocode (2003年) <sup>68)</sup>
孔の軸が荷重伝達方向と垂直な短い長孔	0.85	0.85
孔の軸が荷重伝達方向と垂直な長い長孔	0.70	0.70
孔の軸が荷重伝達方向と平行な短い長孔	0.85	0.76
孔の軸が荷重伝達方向と平行な長い長孔	0.60	0.63

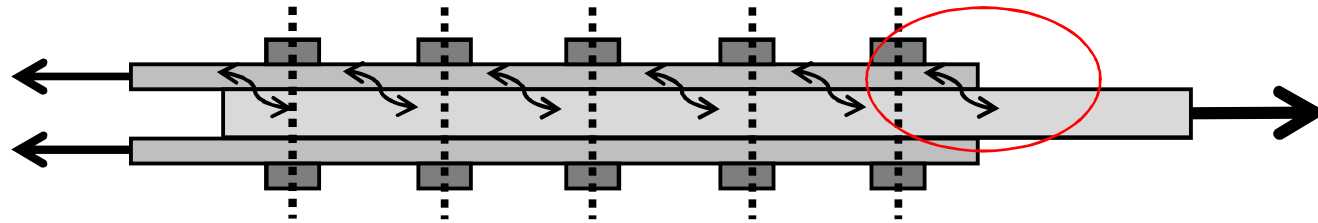


# H24道示における継手の設計

- 道示によれば,  
高力ボルト摩擦接合を採用する場合は, 摩擦面のすべり及び母材又は連結板の降伏に対して安全となるように設計しなければならない.
- ボルトに作用する力が, 許容力以下になるように本数を決定
- 母材の断面は純断面応力が許容応力度を下回るように決定
- すべり係数0.4  
(無機ジंकの場合は0.45・H24道示で導入)
- 多列の場合すべり係数が低下するためボルトの許容力を低減する(H24道示で導入)

# 純断面積の割り増し規定(道示)

- 摩擦接合継手では、最外列のボルトに至る前に荷重が伝達されるため、純断面部にはたらく応力は低下する。



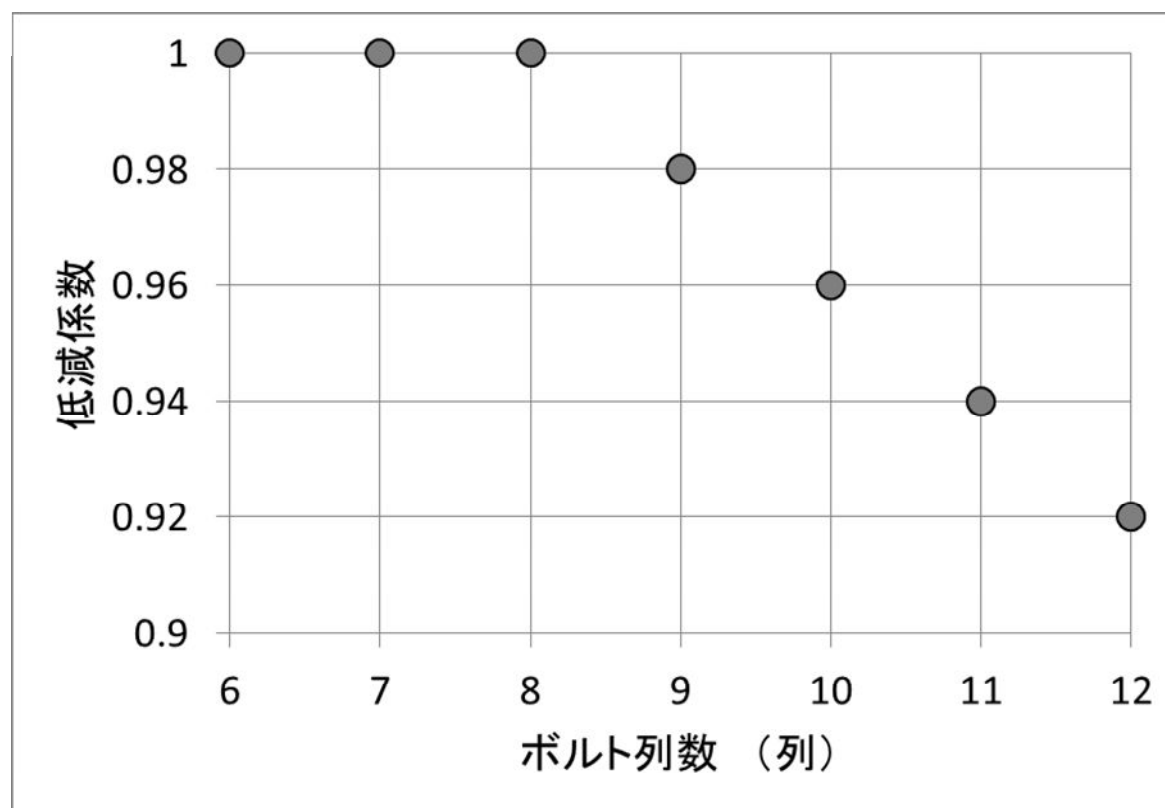
- そのため、応力照査では純断面積を1.1倍してもよいとされている。

最近の研究

彭, 高井, 山口: 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, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 71, No. 1, pp.47-54, 2015.2

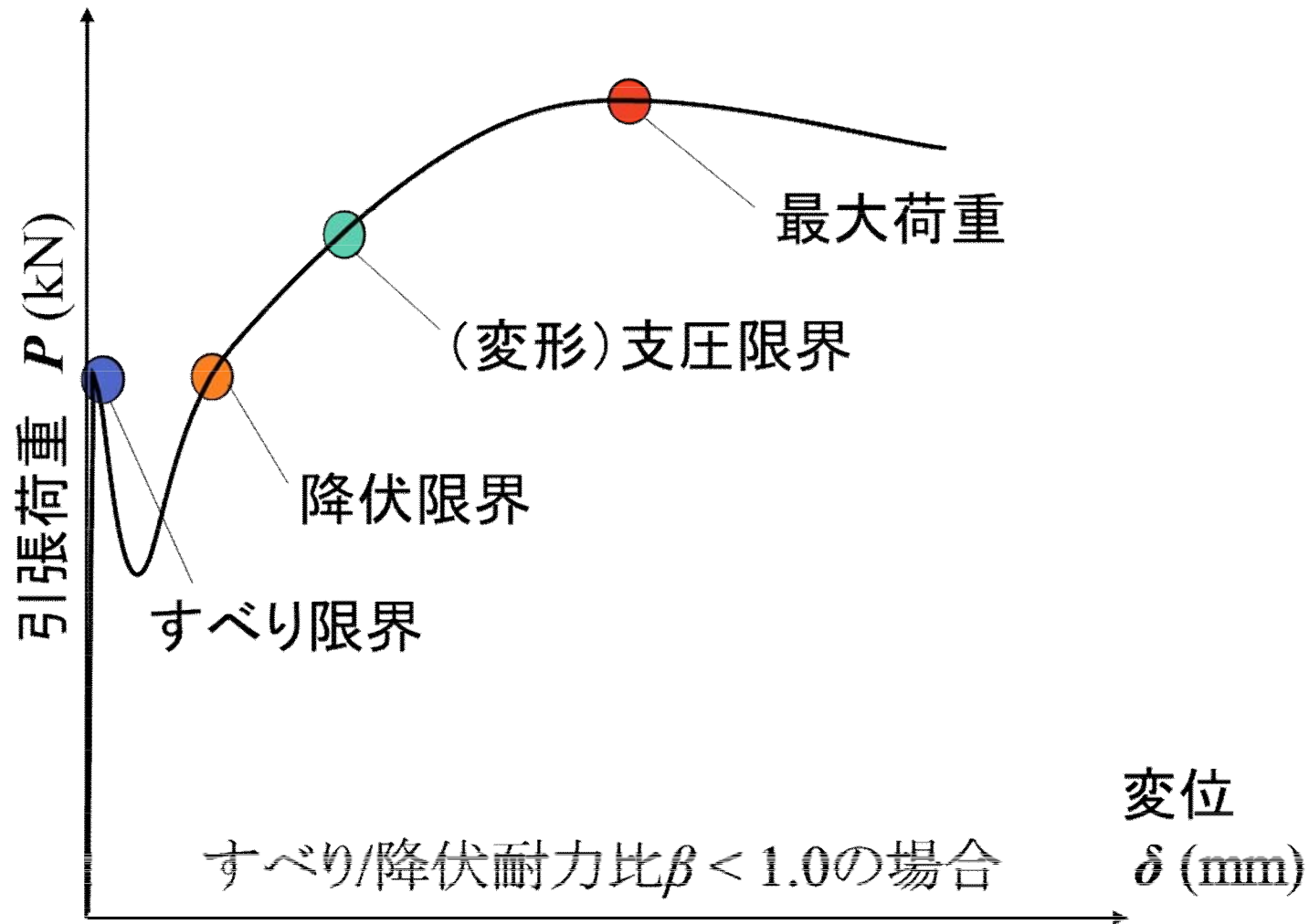
# ボルト許容力の低減(H24道示)

- 接合面に無機ジンクが塗装されている場合を対象
- 多列( $\geq 8$ 列)に対して以下の低減係数をボルト許容力に乗じ, 多列時のすべり係数の低下を考慮する.

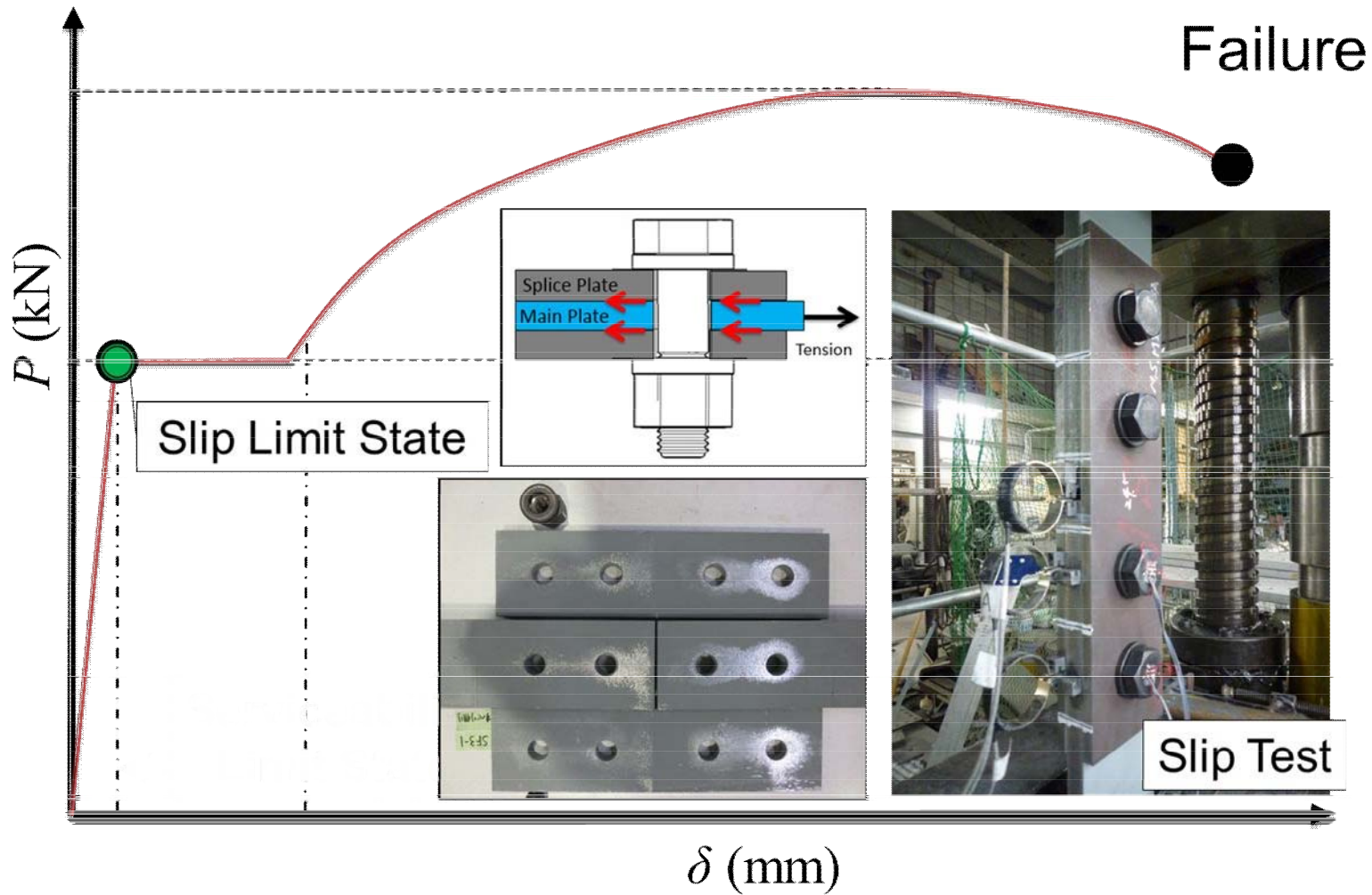


# 高力ボルト摩擦接合の すべり後挙動

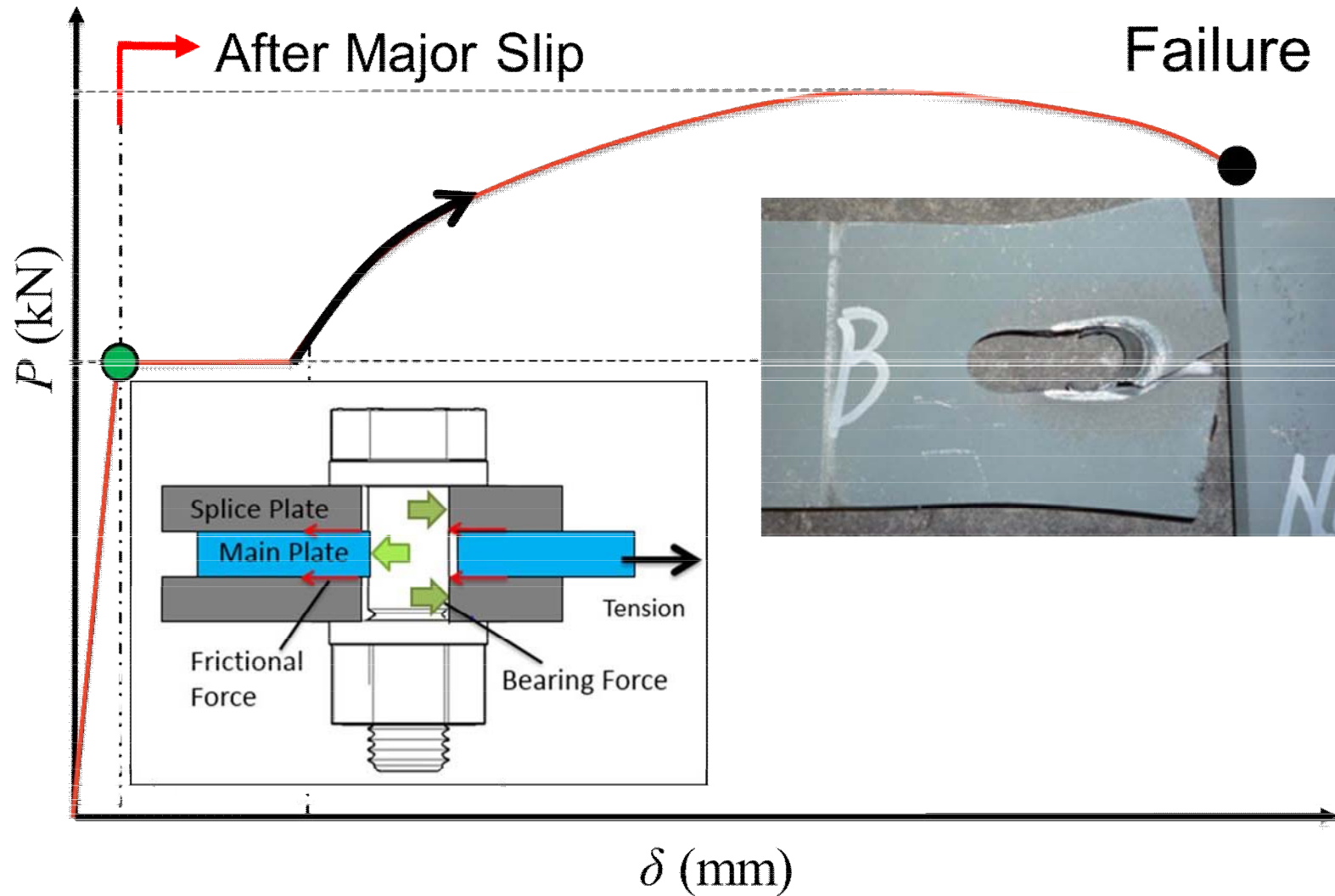
# 高力ボルト摩擦接合継手の荷重－相対変位関係



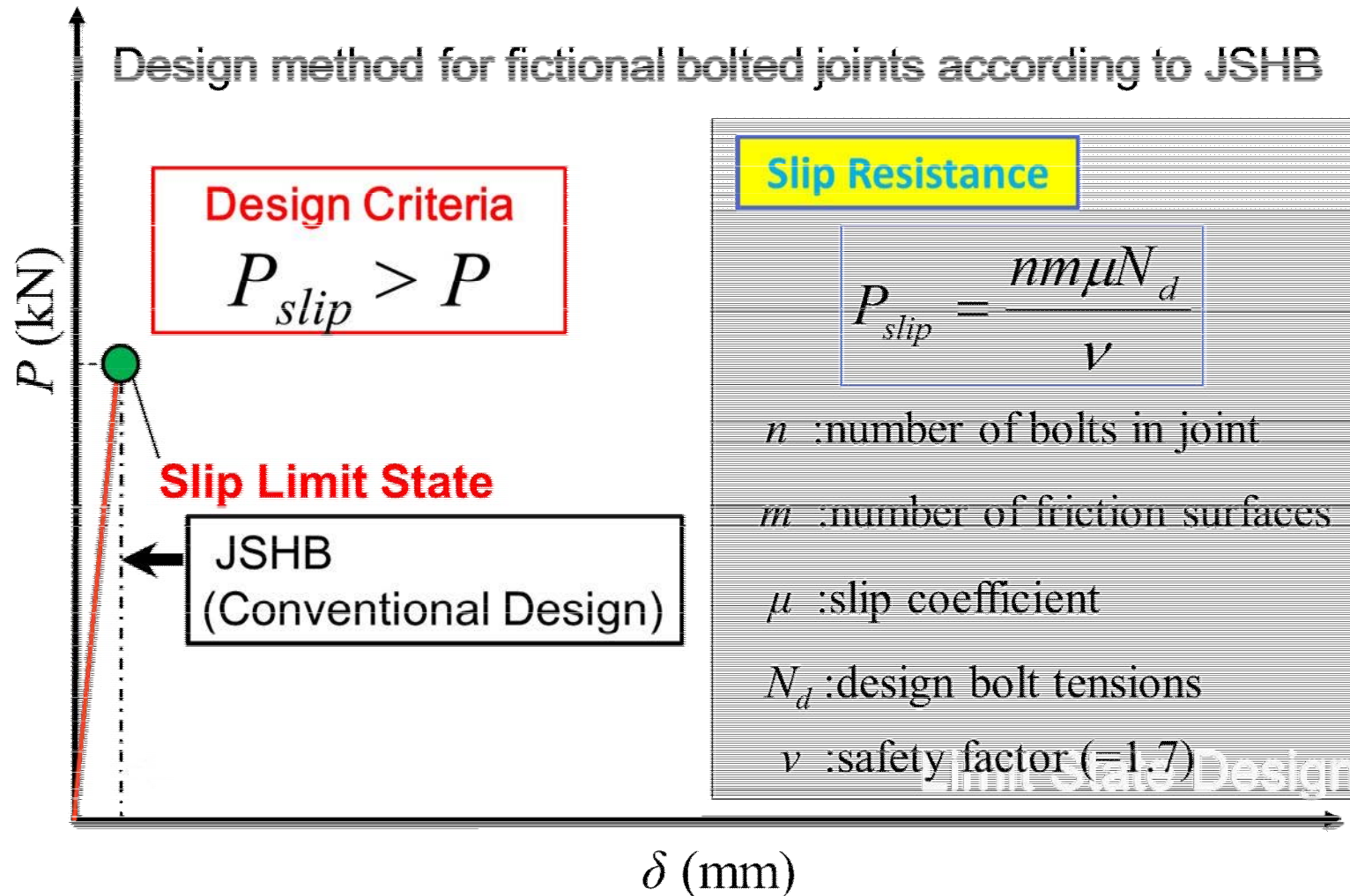
# 摩擦接合継手の力学的挙動



# 摩擦接合継手の力学的挙動

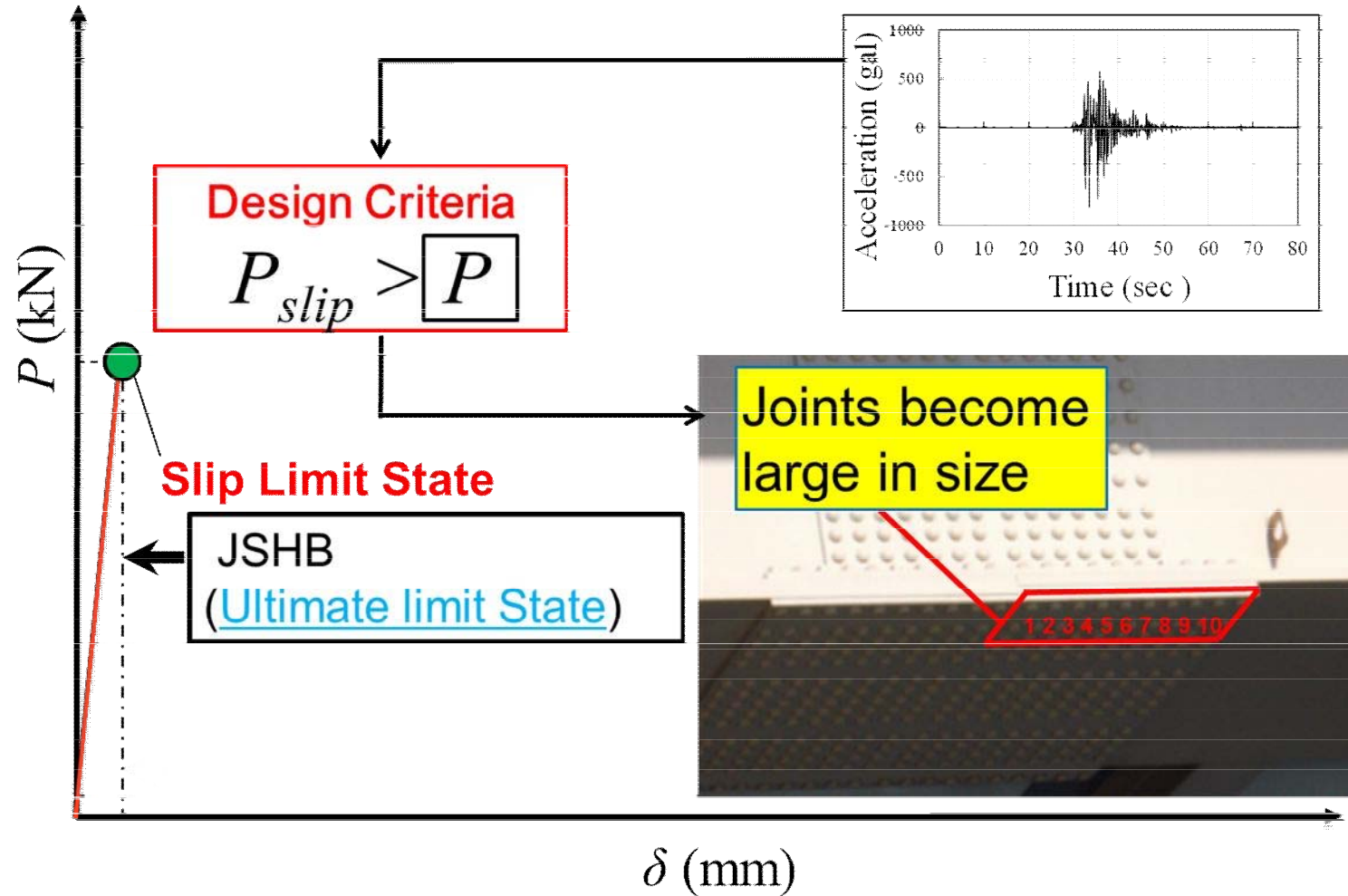


# 従来設計法(すべり限界)

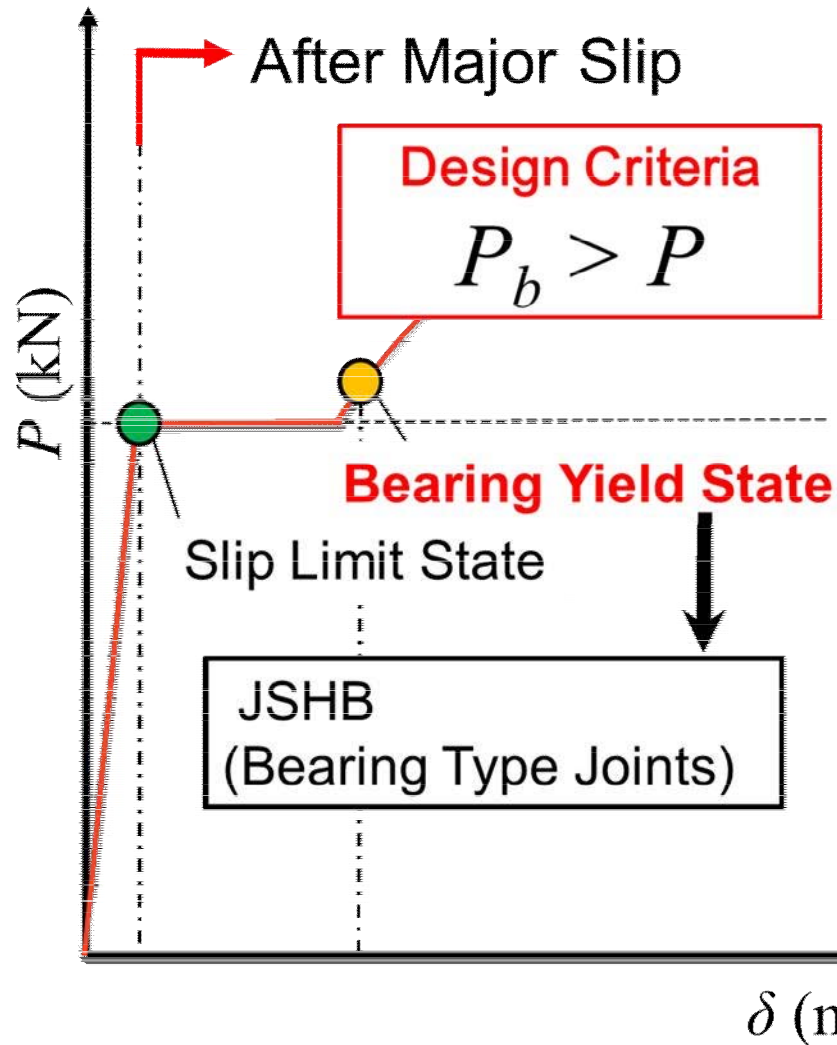




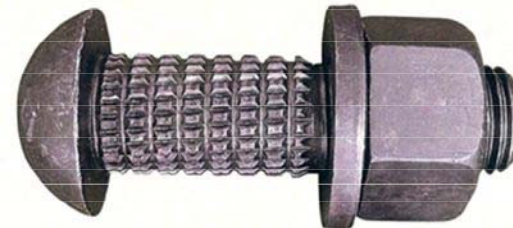
# 従来設計法(すべり限界)



# すべり後の限界状態



## Bearing Yield Resistance



Fitted bolt (Interference Body Bolt)

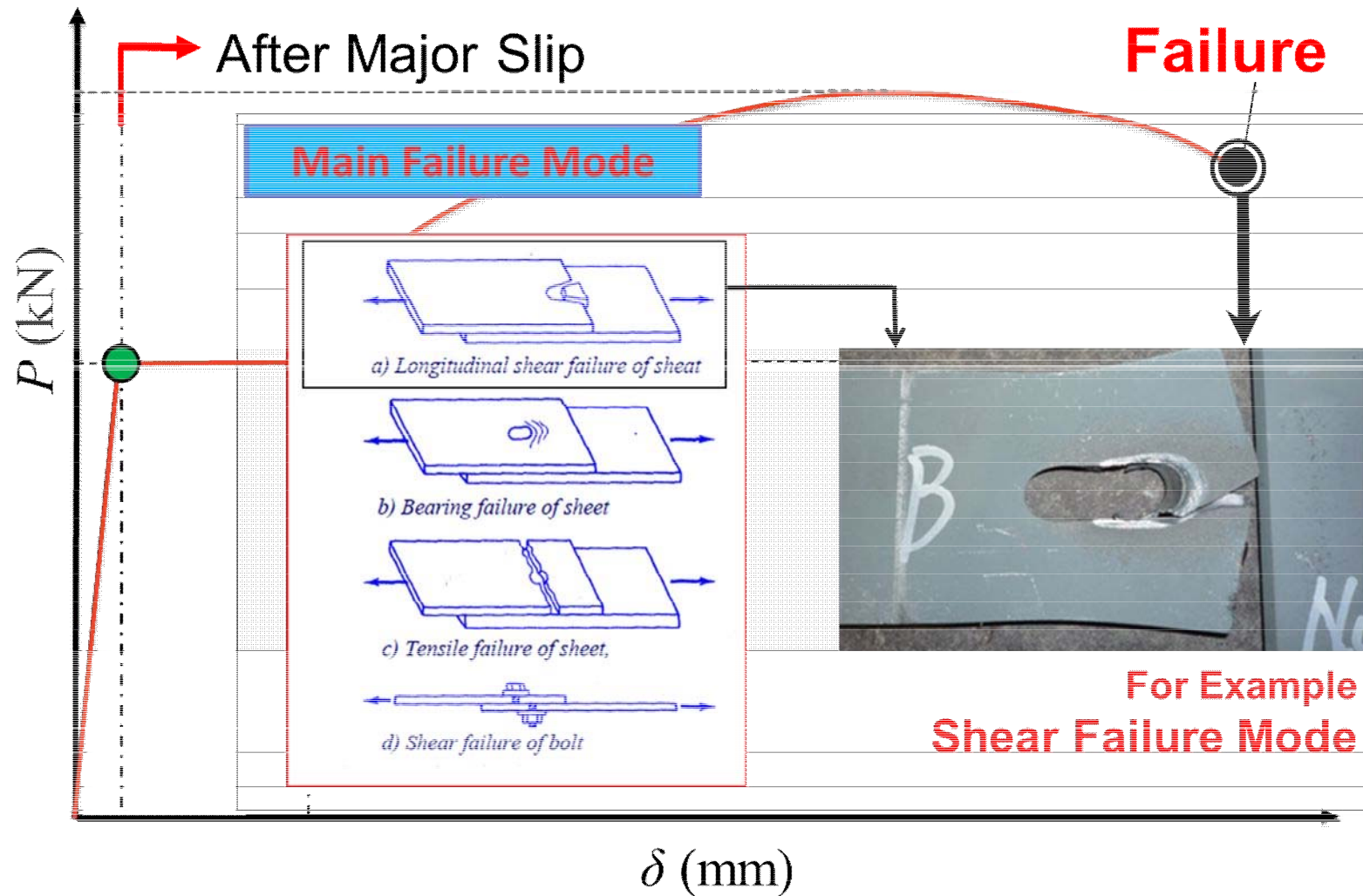
$$P_b = \frac{1.7\sigma_y dt}{v}$$

$\sigma_y$  : yield stress of member

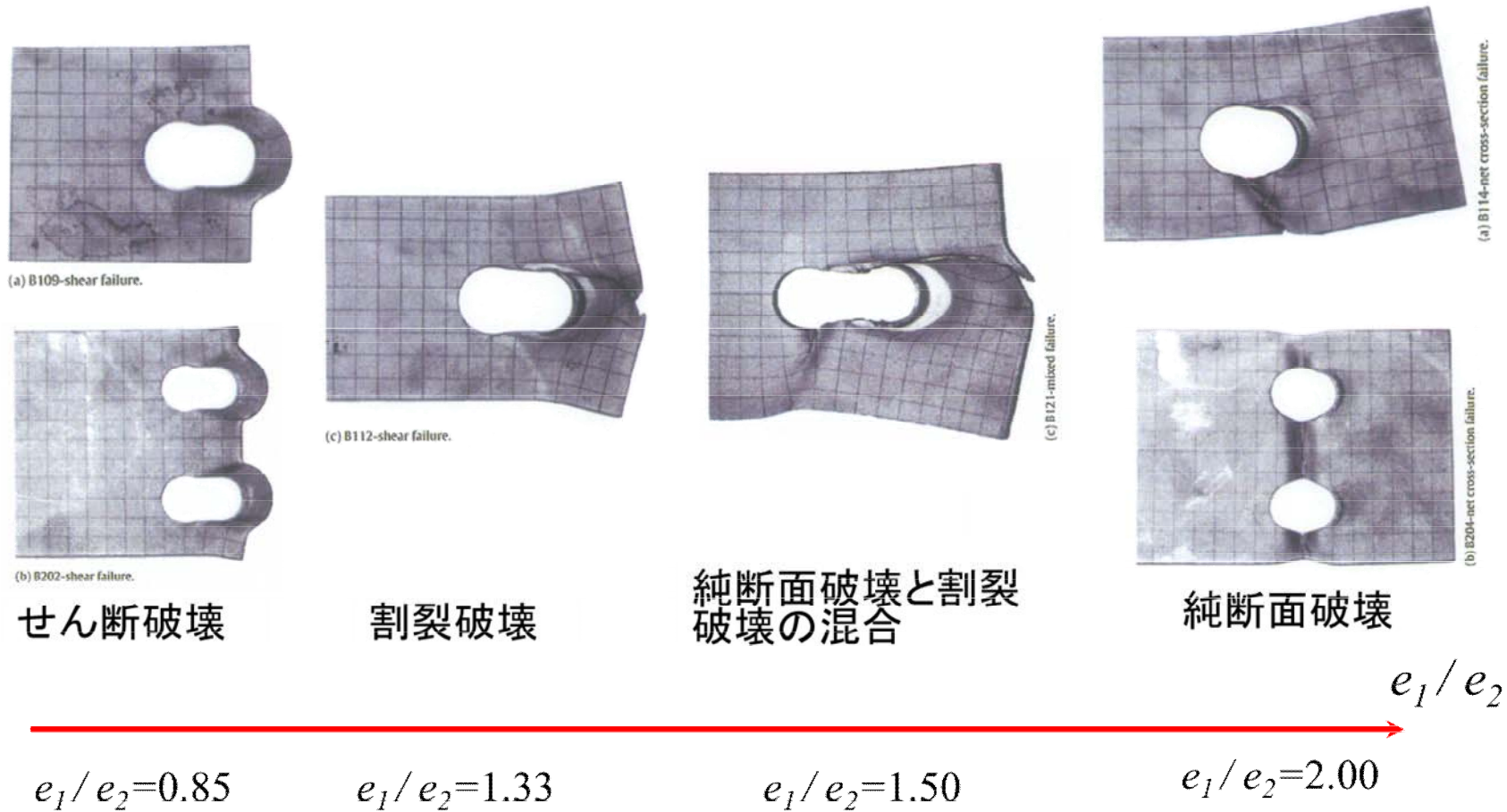
$d$  : nominal bolt diameter

$t$  : thickness of member

# すべり後の限界状態(破断)

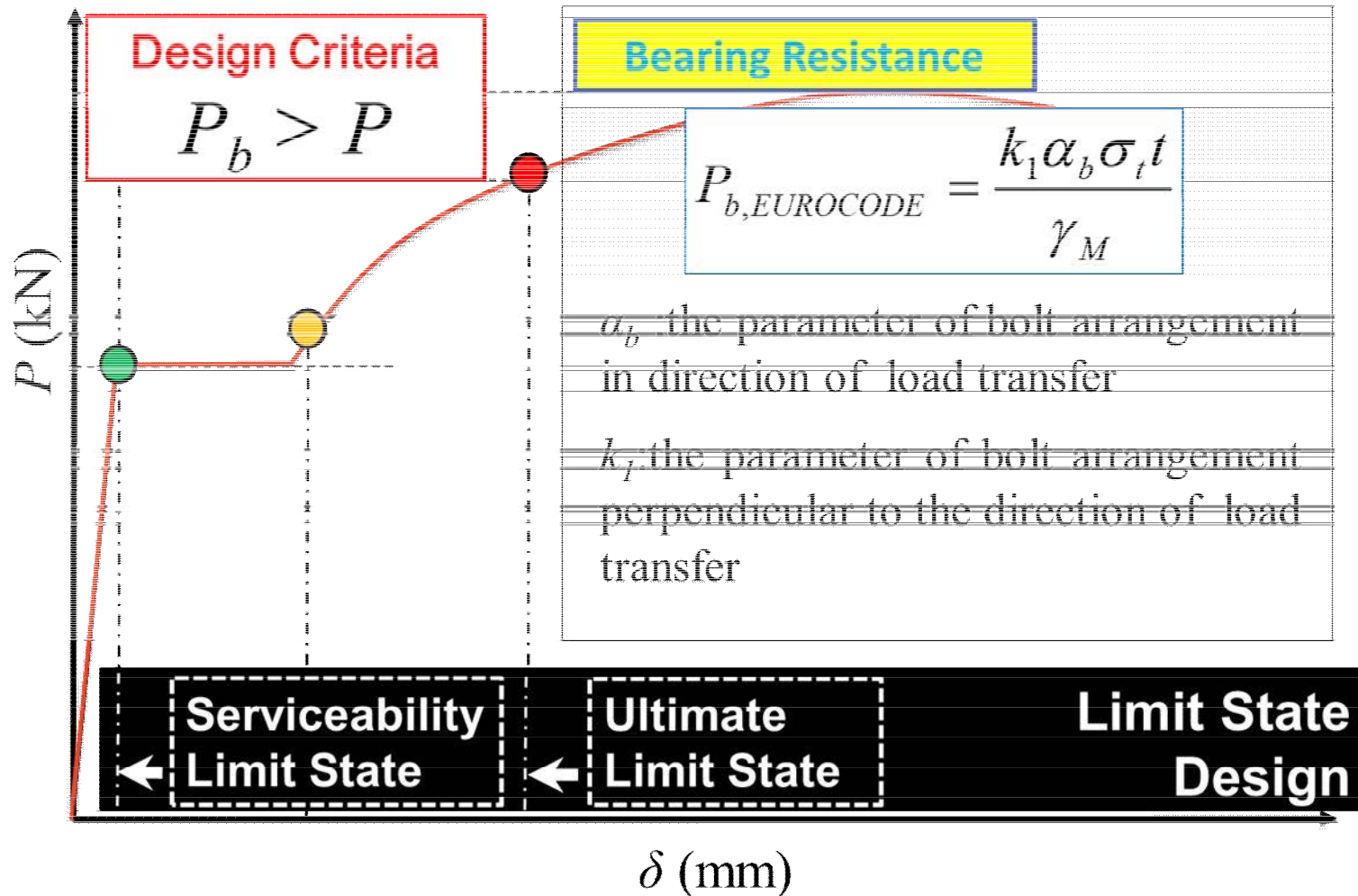


# 破壊モードの比較



◆縁端距離 $e_1$ とへりあき距離 $e_2$ の比率 $e_1/e_2$ を変化するにつれて、異なる破壊モードが確認された。

# Eurocodeにおける高力ボルト摩擦接合の設計



# 高力ボルト摩擦接合継手の設計 基準の比較

# 設計基準で想定する限界状態

高力ボルト 継手の分類		使用限界 状態	終局限界 状態	備考
道示		すべり耐力		
鋼構造 接合部 設計指針	すべり 許容せず	すべり耐力		
	保有耐力 設計	すべり 耐力	支圧 耐力	
AASHTO	すべり 抵抗型	すべり 耐力	すべり 耐力	
	支圧 抵抗型	すべり 耐力	支圧 耐力※	
Eurocode	Category A	支圧 耐力※	支圧 耐力※	※ボルトせん断耐力 >支圧耐力の場合
	Category B	すべり 耐力	支圧 耐力※	
	Category C	すべり 耐力	すべり 耐力	

# Eurocodeの設計書式

EN 1993-1-8:2005

Table 3.2: Categories of bolted connections

Category	Criteria	Remarks
<b>Shear connections</b>		
A bearing type	$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	No preloading required. Bolt classes from 4.6 to 10.9 may be used.
B slip-resistant at serviceability	$F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$ $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Preloaded 8.8 or 10.9 bolts should be used. For slip resistance at serviceability see 3.9.
C slip-resistant at ultimate	$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ $\sum F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$	Preloaded 8.8 or 10.9 bolts should be used. For slip resistance at ultimate see 3.9. $N_{net,Rd}$ see 3.4.1(1) c).

## 作用力

$F_{v,Ed}$ ,  $F_{v,Ed,ser}$ : ボルト一本当たりのせん断力 (Serあり: 使用限界, Serなし: 終局限界)

## 設計耐力

$F_{s,Rd}$ ,  $F_{s,Rd,ser}$ : ボルト一本当たりのすべり耐力 (Serあり: 使用限界, Serなし: 終局限界)

$F_{v,Rd}$ : ボルト一本当たりのボルトのせん断耐力 (終局限界)

$F_{b,Rd}$ : ボルト一本当たりの被接合材の支圧耐力 (終局限界)

$F_{b,Rd}$ : 被接合材の純断面降伏耐力 (plastic resistance) (終局限界)



## Category A

終局限界に対してのみ，照査を行う。

ボルト1本あたりに作用するせん断力 <  $\begin{cases} \blacklozenge \text{ボルト1本あたりの被接合材の支圧耐力} \\ \blacklozenge \text{ボルト1本あたりのボルトのせん断耐力} \end{cases}$

## Category B

使用限界，終局限界の両方に対して照査を行う。

使用限界：使用限界時の作用力 < すべり耐力（部分係数：1.1）

終局限界：終局限界時の作用力 < ボルト1本あたりの，ボルトのせん断耐力および被接合材の支圧耐力

## Category C

終局限界に対してのみ，照査を行う。

ボルト一本あたりに作用するせん断力 <  $\begin{cases} \blacklozenge \text{すべり耐力（部分係数：1.25）} \\ \blacklozenge \text{ボルト1本あたりの被接合材の支圧耐力} \end{cases}$

継手全体のせん断力 < 接合材の純断面降伏耐力

# H24道示と他の設計基準との比較

設計基準	設計法		照査の有無(○:あり,●:あり(備考に示す別条件を満たす必要あり), -:なし)									
			対象 限界 状態	すべり 耐力	純断面 降伏 耐力	純断面 破断 耐力	総断面 降伏 耐力	支圧 耐力	鋼板の せん断 破断耐力	ボルトの せん断 破断耐力	備考	
JSHB	許容応力度 設計法	-	使用	○	○	-	○	-	-	-	実照の照査は許容応力、ボルトは本あてりの許容力で行う。	
		終局	○	○	-	○	-	-	-			
AIJ- LSD	限界状態 設計法	継手部 弾性設計	使用	○	○	-	○	-	-	-	使用限界と終局限界は、耐力(抵抗)係数、荷重係数、荷重の組み合わせが異なる。 終局限界において、継手の破断耐力>主部材の総断面降伏耐力を満たす必要がある。	
			終局	○	○	-	○	-	-	-		
		継手部 塑性設計	使用	○	○	-	○	-	-	-		
			終局	-	-	○	●	-	○	○		
EC3	限界状態 設計法	Category A	使用	-	-	-	-	-	-	-	(1) 使用限界では、橋梁のたわみ・振動について検討し、その許容値は対象橋梁ごとに決定される。 (2) Category A, Bにおいて、部材の塑性変形能を期待する場合(Capacity Design)は、純断面破断耐力>総断面降伏耐力を満たす必要がある。	
			終局	-	-	○	●	○	○	○		
		Category B	使用	○	-	-	-	-	-	-		
			終局	-	-	○	●	○	○	○		
		Category C	使用	-	-	-	-	-	-	-		-
			終局	○	○	-	○	○	○	-		-

$$R_{u\_AIJ} \geq aP_{ygd}$$

$$R_{u\_AIJ} = \min(P_{tnd}, P_{shd\_AIJ}, P_{bod\_AIJ})$$

$$a = \zeta\theta$$

鋼種	破断部材の種類	
	母板, 連結板	ボルト
SS400	1.25	1.25
SM490	1.15	1.15
SN400B, C		
SN490B, C		

AIJ-LSD 指針  
の場合

鋼種	破断部材の種類	
	母板, 連結板	ボルト
SS400	1.25	1.30
SM490	1.20	1.25
SN400B, C	1.15	1.20
SN490B, C	1.10	1.15

鋼構造接合部設計  
指針の場合

# 接合部係数の比較

項目	AIJ-LSD指針		鋼構造接合部設計指針(文献1-7)	
	母板・連結板の破断	ボルトの破断	母板・連結板の破断	ボルトの破断
地震時の繰り返し履歴によるひずみ硬化	考慮なし		$\zeta = 1.05$ として考慮	
使用鋼材の機械的性質の統計分布	鋼種ごとの降伏点 $\sigma_y$ , 引張強度 $\sigma_t$ , 降伏比 $YR$ の分布		AIJ-LSD指針の統計部分布をもとに, 鋼種・形状・製造メーカー間の比率・板厚の分布などを考慮して実勢値に近づくように修正した分布を使用	
材料の機械的性質のばらつきの考慮	鋼板のみ考慮 継手部: 鋼板の引張強度 部材: 鋼板の降伏点	-	鋼板のみ考慮 継手部: 鋼板の引張強度 部材: 鋼板の降伏点	鋼板およびボルトの両方を考慮 継手部: ボルトの引張強度 部材: 鋼板の降伏点
	$\theta = (\text{実勢値の平均} + \text{標準偏差}) / \text{規格下限値}$		$\theta = (\text{実勢値の平均} + \text{標準偏差}) / \text{規格下限値}$	$\theta_1 = (\text{ボルトの引張強度の実勢値}) / \text{規格下限値}$ $\theta_2 = (\text{鋼板の降伏点の実勢値}) / \text{規格下限値}$ $\theta_1$ と $\theta_2$ は互いに独立な対数正規分布と仮定し, 目標信頼性指標を1.0とした場合における次式から得られる. $\mu$ : 平均値, $\sigma$ は標準偏差, $\ln$ は自然対数である.  $\theta = \exp \left\{ \mu_{\ln(\theta_1)} - \mu_{\ln(\theta_2)} + \sqrt{\sigma_{\ln(\theta_1)}^2 + \sigma_{\ln(\theta_2)}^2} \right\}$

## AIJ-LSD指針の場合

鋼種	破断部材の種類	
	母板, 連結板	ボルト
SS400	1.25	1.30
SM490	1.20	1.25
SN400B, C	1.15	1.20
SN490B, C	1.10	1.15

## 鋼構造接合部設計指針の場合

鋼種	破断部材の種類	
	母板, 連結板	ボルト
SS400	1.25	1.25
SM490	1.15	1.15
SN400B, C		
SN490B, C		

# 桁および梁接合部の設計法の比較

(a) フランジ継手とウェブ継手の設計方針

設計基準	設計方針	断面力の取り扱い			最大耐力接合の条件	ウェブ列数の決定方法
		フランジ継手とウェブ継手の内力(断面力の分担)を算出	継手の耐力照査をする次元	ウェブボルト群に対するせん断力の偏心曲げの考慮		
JSHB	フランジ継手とウェブ継手は個々に設計	○	応力	-	-	最外縁行の必要ボルト本数=列数
AII-LSI	断面一体で設計 (使用限界では、フランジ継手とウェブ継手は個々に設計:式(1.35))	-	力モーメント	-	接合部の終局モーメント > 桁の全塑性モーメント 式(1.26), (1.27)	すべてのウェブボルトで断面力に抵抗するように設計
EC3	フランジ継手とウェブ継手は個々に設計	○	力モーメント	○	引張フランジの純断面破断耐力 > 総断面降伏耐力 式(1.16)	すべてのウェブボルトで断面力に抵抗するように設計

# 桁および梁接合部の設計法の比較

(b) フランジ継手の照査項目

設計基準	対象限界状態	共通項目						EC3限定項目
		すべり耐力	純断面降伏耐力	純断面破断耐力	支圧耐力	鋼板のせん断破断耐力	ボルトのせん断破断耐力	圧縮フランジ連結板の座屈照査
JSHB	使用	○	○	-	-	-	-	-
	終局	○	○	-	-	-	-	-
AIJ-LSD 継手部: 塑性設計	使用	○	○	-	-	-	-	-
	終局	-	-	○	-	○	○	-
EC3 Category: B	使用	○	-	-	-	-	-	-
	終局	-	-	○	○	○	○	○

(c) ウェブ継手の照査項目

設計基準	対象限界状態	共通項目						EC3限定項目	
		すべり耐力	純断面降伏耐力	純断面破断耐力	支圧耐力	鋼板のせん断破断耐力	ボルトのせん断破断耐力	連結板純断面のせん断、複合破断に対する照査	遊間部の軸力・曲げ・せん断の組み合わせ力に対する照査
JSHB	使用	○	-	-	-	-	-	-	-
	終局	○	-	-	-	-	-	-	-
AIJ-LSD 継手部: 塑性設計	使用	○	○	-	-	-	-	-	-
	終局	-	-	○	-	○	○	-	-
EC3 Category: B	使用	○	-	-	-	-	-	-	-
	終局	-	-	○	○	○	○	○	○

# 今後の接合部設計

高力ボルト摩擦接合継手

# 今後の高力ボルト接合 — 接合部設計の視点から —

## 接合部設計の基本

従来 保守的な設計

接合部の破壊は、部材の破壊前に起こることはない。

背景：接合部の力学的挙動の迅速かつ正確な把握が困難

コンピュータを用いた解析技術の発達  
新しいセンサを用いた計測技術の発達

合理的な接合部設計が求められる。また、既設構造物の健全度評価にも合理的な接合部評価が鍵

接合部設計コンセプトを確立

# 今後の高力ボルト接合

- ✓リベット接合・支圧接合の再登場

特に, 耐久性, 荷重伝達のしくみ明解さの観点から見直される.

- ✓超鉄鋼高力ボルトを用いた接合

- ✓引張接合の適用範囲の拡大

- ✓併用接合 高力ボルト摩擦接合と溶接接合の併用型  
厚板フランジは溶接, 腹板は高力ボルト

高力ボルト摩擦接合と接着接合  
接着剤の耐久性が問題



# 高力ボルト接合設計の今後

- 摩擦接合のすべり後挙動に関する力学的挙動に関するデータの蓄積  
(群ボルト, フィラーの影響, 間接継手, アンボタニング現象など)
- 支圧強度, 端抜け破断に代表される破断強度の設計法の確立
- 桁および梁継手の設計法の合理化  
(総すべりモーメント, 組合せ断面力作用下での限界状態検討)
- 適切な部分係数の設定
  
- 補修・補強のための設計法の確立(品質管理基準も含む)

**ご静聴, ありがとうございます。**

# 参考資料

# 摩擦接合高力用ボルトの許容力

2002年 道示

高力ボルトの等級	ねじの呼び	引張強度 $\sigma_B$ (N/mm <sup>2</sup> )	耐力 $\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	断面積 $A_e$ (mm <sup>2</sup> )	係数 $\alpha$	設計ボルト軸力 $N$ (kN)	すべり係数 $\mu$	安全率 $\nu$	許容力 $\rho_a$ (kN)
F8T	M22	800~1000	640	303	0.85 (0.68)	165	0.4	1.7	39
F10T S10T	M22	1000~1200	900	303	0.75 (0.68)	205	0.4	1.7	48

1面摩擦継手

## ○設計ボルト軸力

$$N = \sigma_y \times A_e \times \alpha \quad (\text{N})$$

$\sigma_y$  : ボルトの降伏耐力 (N/mm<sup>2</sup>)

$A_e$  : ねじ部の有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

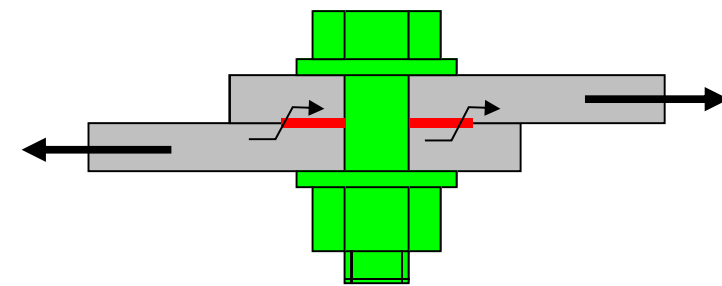
$\alpha$  : ボルトの降伏耐力に対する比率 (引張強度の68%に相当)

## ○ボルト1本1接合面当りの許容力

$$\rho_a = N \times \mu / \nu \quad (\text{N})$$

$\mu$  : すべり係数

$\nu$  : 継手のすべりに対する安全率



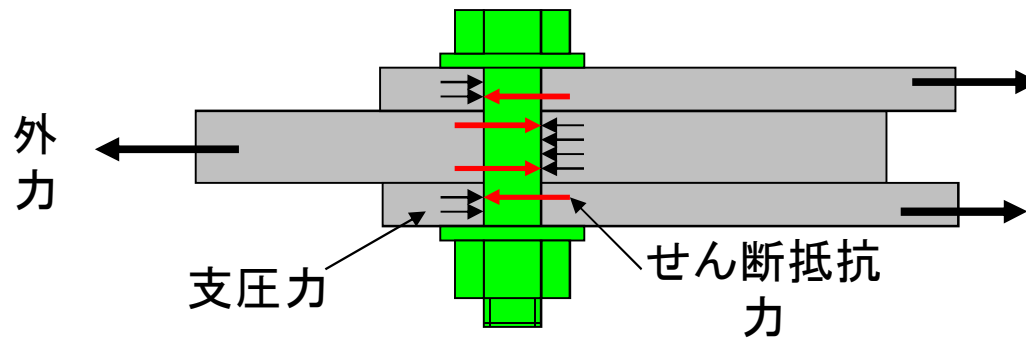
1面摩擦継手

# 支圧接合

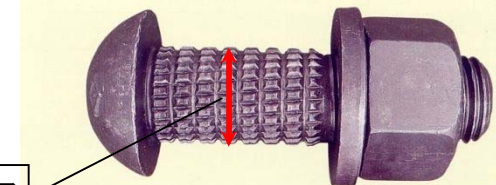
- (1) リベット接合と同様に接合部材のボルト孔とボルト軸部の支圧力とボルトのせん断抵抗により荷重を伝達させる。
- (2) 摩擦接合と同様にボルトに大きな軸力を導入することもある。そのため、摩擦抵抗によっても力を伝達することが可能である。通常の摩擦接合に比べて高い耐力がある。
- (3) ボルト軸径と孔径のクリアランスが大きいと応力伝達機構が働かない。クリアランスはできるだけ小さくする必要がある。一般にクリアランスのほとんどない打ち込み式高力ボルトが使用される。
- (4) 施工上、高い孔精度が要求される。

ボルトの呼び	ボルト軸外径 (mm)	孔径 (mm)	孔径許容差 (mm)
M20	21.5	21.5 (21.2)	±0.3
M22	23.5	23.5 (23.2)	±0.3
M24	25.5	25.5	±0.3

( )内数値はJRS基準を示す



打ち込み式高力丸頭ボルト



ボルト軸外径

# 支圧接合用高力ボルトの許容力

2002年 道示

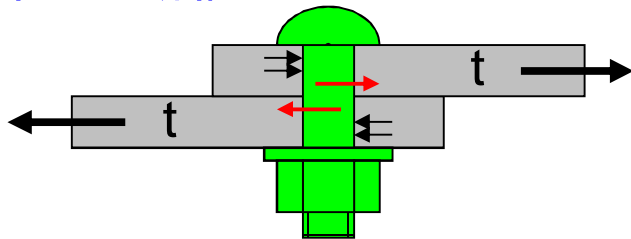
高力ボルトの等級	ねじの呼び	引張強度 $\sigma_B$ (N/mm <sup>2</sup> )	許容せん断応力度 ( $\sigma_B/\sqrt{3}$ )/3 (N/mm <sup>2</sup> )	耐力 $\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	許容せん断応力度 ( $\sigma_y/\sqrt{3}$ )/1.7 (N/mm <sup>2</sup> )	ねじ部外径 断面積 $A_e$ (mm <sup>2</sup> )	許容力 $\rho_a$ (kN)
B8T	M22	800~1000	150	640	217	380	57
B10T	M22	1000~1200	190	900	306	380	72

引張強度に対する  
安全率:3.0

降伏点に対する  
安全率:1.7

支圧接合用高力ボルトの許容力:① or ②の小さい方

単せん断継手



$d$  : ねじ部外径

$\tau_a$  : 許容せん断応力度

$\sigma_{ba}$  : 許容支圧応力度

① 許容単せん断強さ:  $\rho_{1s} = \tau_a \cdot \pi d^2 / 4$

② 許容支圧強さ:  $\rho_b = \sigma_{ba} \cdot dt$