

柱継手高力ボルト接合の開発 その5 設計方法(高力ボルト及びスプライスプレート)

正会員 ○小村欣嗣\* 正会員 横山重和\*  
 正会員 井口智晴\* 正会員 川上寛明\*\*  
 正会員 中野英行\*\* 正会員 穴戸唯一\*\*\*  
 正会員 皆川隆之\*\*\*\*

柱継手 設計式 超高力ボルト  
 角形鋼管柱 省溶接 安全性

1 目的

その4で柱継手母材の検定方法を示したが、ここでは高力ボルト及びスプライスプレート(以下、SPL)の検定方法、設計式を提案する。

2 設計方針

設計方針はその4に示す。

3 検定方法

3.1 高力ボルトの検定式

検定式及び記号は以下の通りとする。考え方及び記号の説明を図1に示す。なお、作用する荷重はすべて柱継手中央位置のものとする。

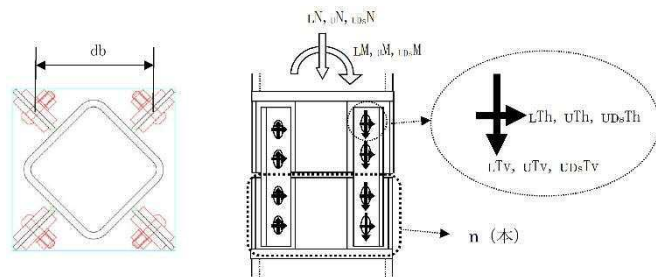


図1 高力ボルトの検定時の考え方及び記号

長期の検定式

$$LTV = LN / (n + LM / (db \times n/2))$$

$$LTh = LQ / (n \sqrt{2})$$

$$\sqrt{(LTV^2 + LTh^2)} \leq LTy$$

保有耐力時の検定式

$$uTv = | \alpha \times (uN \cdot LN) + LN | / (n + \alpha \times uM / (db \times n/2))$$

$$uTh = \alpha \times uQ / (n \sqrt{2})$$

$$\sqrt{(uTv^2 + uTh^2)} \leq Ty$$

Ds算定時の検定式

$$uDsTv = | \alpha \times (uDsN \cdot LN) + LN | / (n + \alpha \times uDsM / (db \times n/2))$$

$$uDsTh = \alpha \times uDsQ / (n \sqrt{2})$$

$$\sqrt{(uDsTv^2 + uDsTh^2)} \leq Tu$$

記号

LN, uN : 長期及び保有耐力時の柱軸力  
 LM, uM : 長期及び保有耐力時の柱継手位置の曲げモーメント  
 LQ, uQ : 長期及び保有耐力時の柱のせん断力

uDsN : Ds算定時の柱軸力

uDsM : Ds算定時の柱継手位置での曲げモーメント

uDsQ : Ds算定時の柱のせん断力

LTv : 長期にボルトに作用する鉛直力

LTh : 長期にボルトに作用する水平力

uTv : 保有耐力時にボルトに作用する鉛直方向の力

uTh : 保有耐力時にボルトに作用する水平方向の力

uDsTv : Ds算定時にボルトに作用する鉛直方向の力

uDsTh : Ds算定時にボルトに作用する水平方向の力

LTy : ボルト1本の長期許容耐力

Ty : ボルト1本の短期許容耐力

Tu : ボルト1本の最大耐力

n : ボルト本数(片側の継手に用いる本数とする)

db : ボルト中心間距離(図1参照)

α : 接合部係数(その4 表1参照)

3.2 スプライスプレート(SPL)の検定式

長期及び保有耐力時のSPLの検定は図2に示すように、曲げモーメントが最大となる最外縁とせん断力が最大となる中央の2カ所で行う。また、その4の柱継手母材の検定方法で示したと同様にボルトのすべり耐力の1/3を考慮して相当断面係数(sZeq)を定める。

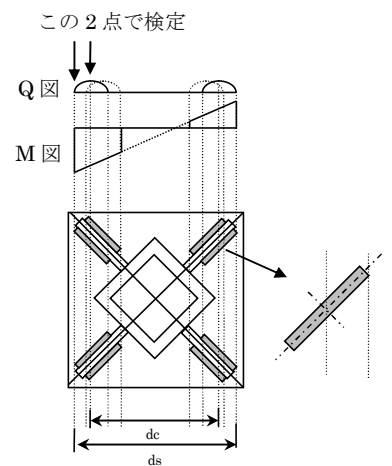


図2 スプライスプレートの検定

長期の検定式

$$LN / (LN_a / 8 + LM / sZeq) \leq 1.0$$

$$\sqrt{(\sigma_c^2 + 3 \times \tau_{max}^2)} \leq L\sigma_y$$

$$\sigma_c = LN / (LN_a / 8 \times L\sigma_y + LM / sZeq) \times dc / ds$$

$$\tau_{max} = 1.5 \times LQ / (4 \sqrt{2} \times sAe)$$

$$LN_a = \min\{(sAe \times L\sigma_y + LTy) / 3, sA \times L\sigma_y\}$$

保有耐力時の検定式

$$\begin{aligned} &|\alpha \times (uN \cdot L N) + L N| / sNa/8 + \alpha \times uM/sZeq / \sigma_y \leq 1.0 \\ &\sqrt{(\sigma_c^2 + 3 \times \tau_{max}^2)} \leq \sigma_y \\ &\sigma_c = \{ \alpha \times (uN \cdot L N) + L N \} / sNa/8 \times \sigma_y + \alpha \times uM/sZeq \times dc/ds \\ &\tau_{max} = 1.5 \times \alpha \times uQ/4\sqrt{2} / sAe \\ &sNa = \min\{ (sAe \times \sigma_y + sTy/3), sA \times \sigma_y \} \end{aligned}$$

記号

- $\sigma_y$  : SPL の長期許容応力度
- $\sigma_y$  : SPL の短期許容応力度
- sAe : SPL1 枚当たりのボルト孔欠損を考慮した有効断面面積
- sA : SPL1 枚当たりの全断面積
- sZeq : 相当断面係数
- $\sigma_c$  : SPL 中央に作用する最大の軸方向の応力度
- $\tau_{max}$  : SPL に作用する最大のせん断応力度
- dc : SPL 中央間距離 (図2 参照)
- ds : SPL 最外縁距離 (図2 参照)

SPL の最大耐力の検定式もその4の柱継手母材の検定式と同様の方法で求める。図3に全仕様の各応力状態のプロット及び検定式を示す。全プロットに対して安全側の評価となっている。

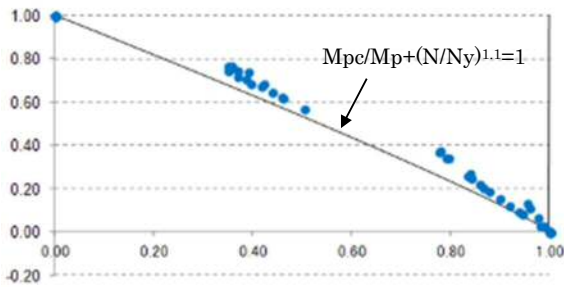


図3 全仕様のプロット及び設計式

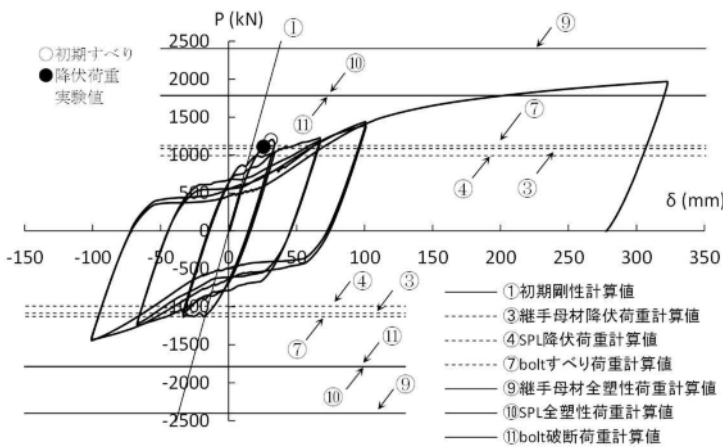


図4 荷重-変形関係及び各設計値

以上の検討より、Ds 算定時の検定式を示す。

Ds 算定時の検定式

$$\begin{aligned} &\{ |\alpha \times (uDsN \cdot L N) + L N| / sAe/\sigma_u/8 \}^{1.1} + \alpha \times uDsM/sZpe/\sigma_u \leq 1.0 \\ &\tau_{max} \leq \sigma_u / \sqrt{3} \\ &\tau_{max} = 1.5 \times \alpha \times uDsQ/4\sqrt{2} / sAe \end{aligned}$$

記号

- sZpe : SPL のボルト孔を考慮した塑性断面係数
- $\sigma_u$  : 引張強さ

4 考察及びまとめ

ここでは、その1で報告した構造実験結果 (Case5) とその4及び本論文で提案した検定式を比較することで検定式の妥当性を検証する。図4に荷重-変形関係及び検定式により求めた各荷重設計値を示す。また、表1に実験結果と計算値の比較を示す。

柱継手母材、高力ボルト、SPL の計算値は仕様や作用する荷重によって、大小関係が変わることがある。Case5では降伏荷重は、SPL が最も低く、柱継手母材、高力ボルトの順となっている。したがって、降伏荷重はSPL の値となる。実験での降伏荷重 (初期剛性の1/3となった時点の荷重) はSPL を上回っており、構造安全性が確保されていることが分かる。また、ボルトの初期すべり時の荷重も検定式のボルトのすべり荷重の計算値を上回っている。終局荷重はSPL と高力ボルトがほぼ同じ値 (高力ボルトが約0.5%低い) となっている。実験値はその値を上回っており構造安全上問題ないことが分かる。なお、柱継手母材はそれよりかなり高い値となっている。

今回採用した他の試験体 (Case1~3) でも実験値は検定式による降伏荷重、すべり荷重、終局荷重を上回っており、その4及び本論文で提案した検定式で設計可能である。

表1 実験結果と計算値の比較

項目		値	判定
剛性 (kN/mm)	①初期剛性計算値	64.9	②/①=0.89
	②初期剛性実験値	58.0	
降伏荷重 (kN)	③継手母材降伏荷重計算値	1,085	⑥/⑤=1.12
	④SPL降伏荷重計算値	991	
	⑤降伏荷重計算値 min(③, ④)	991	
	⑥降伏荷重実験値	1,109	
すべり荷重 (kN)	⑦boltすべり荷重計算値	1,127	⑧/⑦=1.07
	⑧boltすべり荷重実験値	1,206	
終局荷重 (kN)	⑨継手母材全塑性荷重計算値	2,404	⑬/⑫=1.11
	⑩SPL全塑性荷重計算値	1,790	
	⑪bolt破断荷重計算値	1,781	
	⑫終局荷重計算値 min(⑨, ⑩, ⑪)	1,781	
	⑬終局荷重実験値	1,970	

\*積水ハウス株式会社

\*\* 日鉄建材株式会社

\*\*\* 日本製鉄株式会社

\*\*\*\* 株式会社えびす建築研究所

\* Sekisui House LTD.

\*\* Nippon Steel Metal Products Co.,LTD

\*\*\* Nippon Steel Corporation

\*\*\*\* Corporation Ebisu Architecture Laboratory