

ガセットプレート・スチフナを簡略化した大梁-小梁仕口の力学的性能 (その1: 予備解析および実験計画)

正会員 ○村山 長十* 同 清水 淳*
同 松本 由香** 同 的場 耕***

大梁-小梁仕口 ガセットプレート スチフナ
許容耐力

1. 研究背景・目的

大梁-小梁仕口には、大梁にガセットプレートとスチフナを溶接し、小梁ウェブとガセットプレートを高力ボルト接合するピン形式が多用されている(図1)。一般に、ガセットプレートとスチフナのせいは大梁フランジ内法と同一とすることが多いが、大梁と小梁のせいが大きく異なる場合などは、ガセットプレートやスチフナの縮小・省略が可能と考えられる。

本研究は、ガセットプレートおよびスチフナを簡略化した大梁-小梁仕口を考案し、力学的性能について実験的に検討したものである。

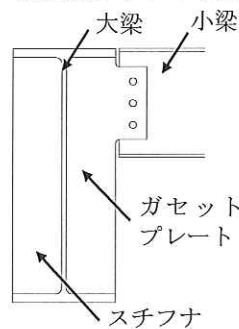


図1 大梁-小梁仕口

トを縮小したAタイプ、以上3タイプの仕口形状を対象に実験を行う。特にAタイプの場合、大梁ウェブが面外曲げによって損傷する危険があるため、大梁の応力が厳しくなる条件で実験を行い、許容耐力が安全側に評価できることを確認する必要がある。

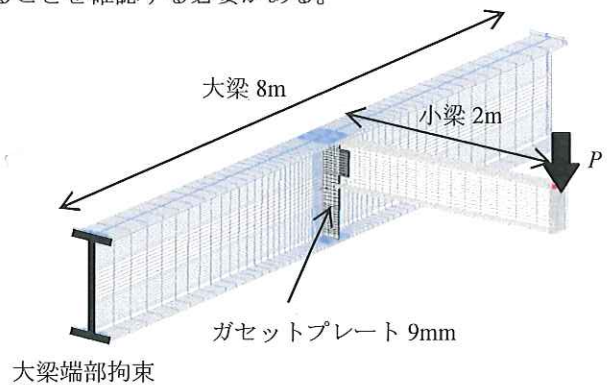


図2 解析モデル

2. 予備解析による仕口形状の検討

2.1 解析方法

図1に示す一般的な仕口を対象に有限要素解析を行う。大梁はH-800×300×14×28、小梁はH-350×175×7×11であり、仕口周辺を抽出して解析モデルを作成する。解析モデル一例を図2に示す。用いた要素は8節点ソリッド要素である。高力ボルト自体はモデル化せず、ボルト群図心を中心に40mm×160mmの範囲に位置する節点を共有させることによって、小梁ウェブからガセットプレートへ応力を伝達する。

図2中、大梁両端の節点は並進変位を拘束し、小梁端フランジ上面の節点に対して下向き方向強制変位を与えて単調荷重を行う。鋼材は等方等質材料とし、SS400材を想定して降伏強さ264N/mm²とする。解析には汎用プログラムADINA8.7を使用し、降伏条件には、Misesの条件を用いる。また、幾何学非線形を考慮している。

2.2 解析結果

図3に鉛直力Pと加力点鉛直変位δの関係を示す。P=100kN付近について、ミーゼス相当応力の分布を図4に示す。図4によると、高い応力が生じているのはガセットプレート上部に限定されている。従って、スチフナやガセットプレート下部については、省略・縮小できる可能性がある。

以降では、図1の仕口をDタイプとし、Dタイプのスチフナを省略したCタイプ、Cタイプのガセットプレ

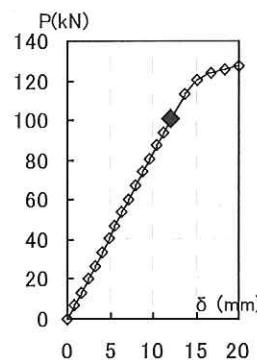


図3 荷重変形関係

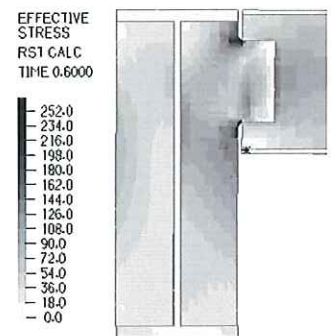


図4 応力度分布

3. 実験計画

3.1 試験体形状

図5に試験体概形を示す。一対の大梁の間に小梁を接合し、小梁中央に集中荷重を作用させる。小梁から大梁に作用する応力が大梁フランジに伝達しにくくなるように、大梁は支持柱とウェブのみで接合する。大梁断面はH-500×200×10×16で全試験体共通とする。

パラメータは、仕口形状、小梁長さ、小梁断面および高力ボルト本数であり、計7体の試験体を製作する。図6に仕口形状一覧、表1に試験体一覧を示す。

3.2 材料特性

大梁、小梁、ガセットプレート(GPLと表記)およびスチフナにはいずれもSS400材を用いており、小梁ウェブ

ブ接合部には F10T 高力六角ボルト M20 を用いている。鋼材の材料特性および高力ボルトの機械的特性を表 2 および表 3 に示す。表 3 中には、ミルシートによるトルク係数値、3.3 節の方法で求めた実験時導入張力、ボルト 1 本当りすのすべり耐力を併せて示す。

3.3 試験体組立

試験体全体を仮組した後、試験部となる大梁-小梁接合部、大梁-柱接合部、柱-基礎梁接合部の順に高力ボルトの本締めを行った。試験部の高力ボルトは、締付けトルク 502N・m (検査校正表参照) に調整したトルクコントロールレンチを用いて本締めを行った。トルク係数値を参照すると、導入張力は 189kN となる。小梁ウェブとガセットプレートの摩擦面は、ショットブラスト後赤錆発錆処理を行っており、別途実施したすべり試験により、すべり係数は 0.6 程度が期待できる。導入張力 189kN、すべり係数 0.6 を仮定すると、ボルト 1 本当りすのすべり耐力は 113kN である。

3.4 荷重方法

セットアップを図 7 に示す。ピンを介して小梁中央をセンターホールジャッキに緊結し、鉛直下向きに単調荷重を行った。荷重中は、小梁中央の集中荷重 P 、小梁中央の鉛直変位、大梁図心位置の鉛直変位、小梁およびガセットプレートの歪分布を連続的に計測した。

4. 結論

簡略化した大梁-小梁仕口の力学的性能について検討するため、予備解析を実施し、実験を計画した。実験結果は次報で報告する。

表 1 試験体一覧

試験体	大梁	小梁	小梁長さ(m)	仕口	n_b
300-D	H-500×200 ×10×16	H-300×150 ×6.5×9	1	D	3
300-C				C	3
300-A				A	3
200-D	H-200×100 ×5.5×8	H-200×100 ×5.5×8	1	D	2
200-C				C	2
200-A				A	2
200-2A				A	2

n_b : ボルト本数

表 2 鋼材の材料特性

部位	$u\sigma_y$ (N/mm ²)	$l\sigma_y$ (N/mm ²)	σ_u (N/mm ²)	ϵ_u (%)
大梁ウェブ(H-500)	363	329	474	17.4
小梁ウェブ(H-300)	393	384	479	12.4
小梁ウェブ(H-200)	307	286	427	17.6
GPL・スチフナ	363	338	463	16.4

$u\sigma_y$: 上降伏強度, $l\sigma_y$: 下降伏強度, σ_u : 引張強度, ϵ_u : 一様伸び

表 3 高力ボルトの機械的特性

高力ボルト	σ_y (N/mm ²)	σ_u (N/mm ²)	k	N_i (kN)	R_s (kN)
M20(F10T)	1040	1083	0.133	189	113

σ_y : 降伏強度, k : トルク係数値, N_i : 導入張力, R_s : すべり耐力

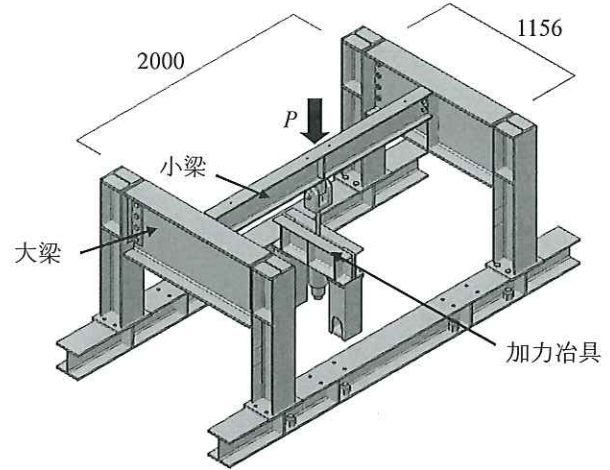


図 5 試験体概形

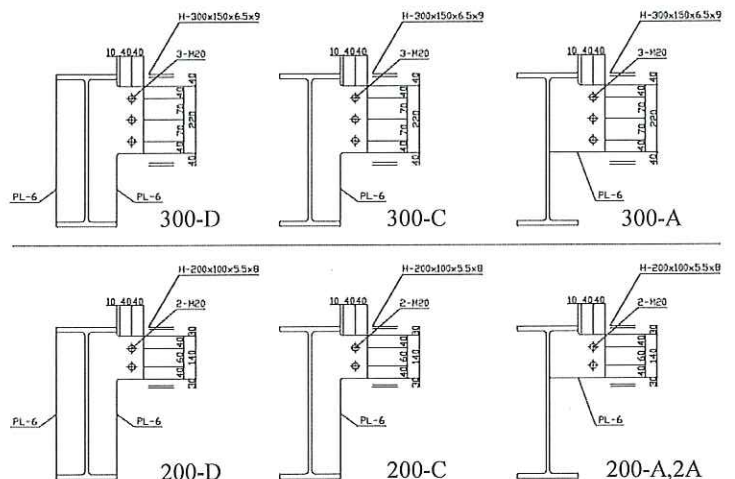


図 6 仕口形状一覧

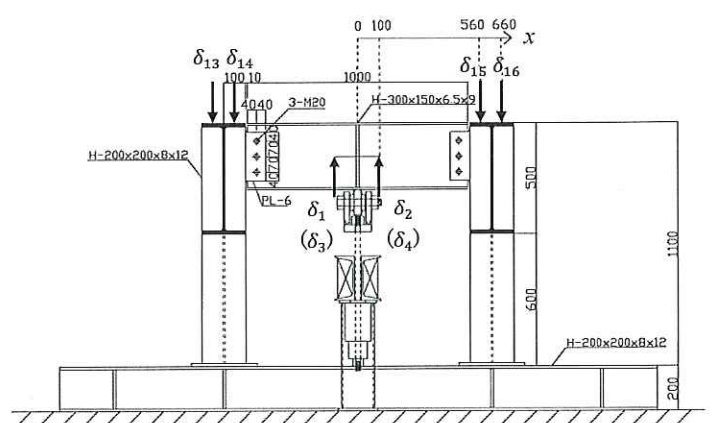


図 7 セットアップ

()内は紙面裏側

*横浜国立大学大学院

**横浜国立大学大学院 准教授 博士(工学)

***(株)角藤 博士(工学)

*Yokohama National Univ.

**Assoc.Prof., Yokohama National Univ., Dr.Eng.

***Kakuto Corporation., Dr.Eng.

ガセットプレート・スチフナを簡略化した大梁-小梁仕口の力学的性能
(その2: 実験結果)

正会員 ○清水 淳* 同 村山 長十*
同 松本 由香** 同 的場 耕***

大梁-小梁仕口 ガセットプレート スチフナ
許容耐力 すべり荷重

1. 序

前報で報告した実験計画に基づき、大梁-小梁仕口の加力実験を実施した。本報では実験結果を報告し、仕口の許容耐力について考察を行う。

2. 実験結果

2.1 荷重変形関係

荷重変形関係は、小梁中央の集中荷重 P とたわみ δ によって整理する。下式に示すように、 δ は小梁中央の鉛直変位から大梁図心の鉛直変位を控除した値とする。式中の記号は前報図7に示す。

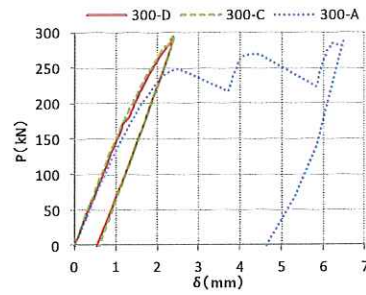
$$\delta = \text{ave.}(\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4) - \text{ave.}(\delta_{13}, \delta_{14}, \delta_{15}, \delta_{16}) \dots\dots\dots (1)$$

図1に各試験体の荷重変形関係を示す。300-D,Cはガセットプレートが局所的に降伏し、剛性が若干低下した後、荷重がロードセル容量限界に達した。200-D,Cは、ガセットプレートが局所的に降伏すると共に小梁自体も塑性化し、小梁のねじれが進行して耐力が低下した。写真1に200-Dのガセットプレートを示す。仕口形状DとCを用いた試験体の挙動は類似しており、弾性剛性・耐力共に同等であった。300-A,200-Aは小梁ウェブ接合部の高力ボルトにすべりが生じた。写真2に300-Aの高力ボルト接合部を示す。また、載荷中は大梁ウェブに面外変形が観察されたが、除荷後はほとんど残留変形が見られず、面外変形のほとんどは弾性変形成分だったと考えられる。

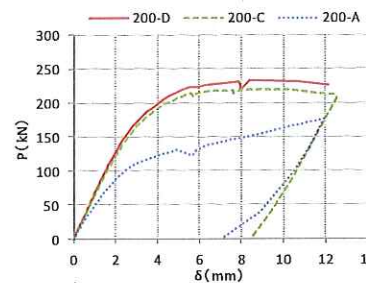
200-2Aは小梁のねじれが進行して耐力が低下した。写真3に小梁の変形を示す。

2.2 曲げモーメント分布

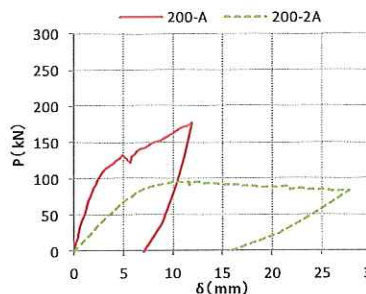
載荷中は、小梁の上下フランジに貼付した歪ゲージによって当該断面の曲率を計測している。曲率から求めた曲げモーメントを直線近似することにより、小梁の曲げモーメント分布が得られる。200-D および 200-A に $P=45\text{kN}$ が作用している時点为例に、小梁の曲げモーメント分布を図2に示す。200-Aでは、大梁図心位置の曲げモーメントが200-Dに比べて小さく、逆にボルト位置での曲げモーメントが大きくなっている。これは、Aタイプの仕口はDタイプに比べて回転剛性が低く、完全なピン接合に近い曲げモーメント分布になるためと考えられる。



300-D・C・A



200-D・C・A



200-A・2A



写真1

ガセットの残留変形(200-D)

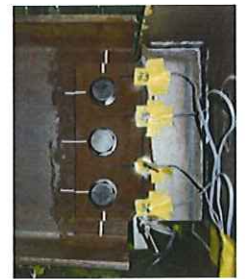


写真2

接合部のすべり(300-A)

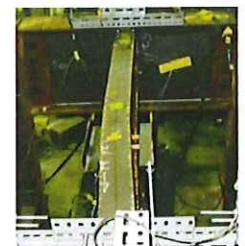


写真3

小梁の変形(200-2A)

図1 荷重変形関係

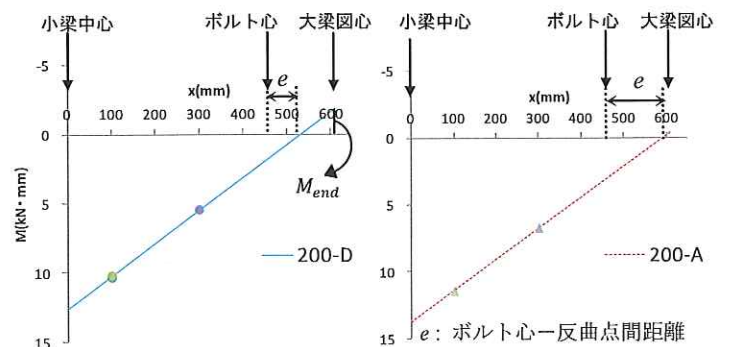


図2 曲げモーメント分布(例)

2.3 試験結果一覧

表 1 に試験結果一覧を示す。

尚、表中には 3 節の方法で得られた仕口許容耐力計算値 eP_s を併せて示す。

表 1 試験結果一覧

試験体	eK_θ (kN・m/rad)	eK_e (kN/mm)	P_{max} (kN)	eP_s (kN)	cP_s (kN)
300-D	1576	146	290	-	281
300-C	1106	152	297	-	309
300-A	1211	139	289	250	250
200-D	699	66	233	-	181
200-C	703	63	220	-	178
200-A	413	50	177	132	101
200-2A	232	14	95	-	105

eK_θ : 仕口の回転剛性であり、図 2 中に示す大梁図心位置の曲げモーメント M_{end} を大梁鉛直変位 (前報図 7 中の δ_{13}, δ_{14}) から求めた大梁回転角で除した値

eK_e : $P-\delta$ 関係から求めた弾性剛性

P_{max} : 最大荷重

eP_s : 1 回目のボルトすべりが生じる直前の P 計測値

cP_s : 仕口許容耐力計算値

3. 許容耐力の評価

大梁—小梁仕口の設計では、一般に小梁ウェブ正味断面の降伏耐力、ガセットプレート正味断面の降伏耐力、高力ボルトすべり耐力のうちの最小値に基づいて許容耐力を決定する。本研究の試験体について、前報に報告した鋼材の降伏強度および高力ボルトすべり耐力を用いて仕口の許容耐力を計算し、実験値と比較する。いずれの試験体も高力ボルトのすべり耐力で許容耐力が決定したため、高力ボルトについての検討方法について以下に解説する。

2.2 節に示すように、各試験体の曲げモーメント分布から反曲点位置を特定し、反曲点からボルト群図心までの距離 e が得られる。ボルト接合部にはせん断力 Q と曲げモーメント eQ が同時に作用すると仮定すると、このとき最外縁のボルトに作用するせん断力 R は下式のように計算できる。式中の記号の定義を図 3 に示す。

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \dots \dots \dots (2)$$

$$R_x = eQ/h_b \dots \dots \dots (3)$$

$$R_y = Q/n_b \dots \dots \dots (4)$$

R_x : 作用曲げモーメントによって最も離れた位置にあるボルトに作用する材軸方向のせん断力

R_y : ボルト 1 本あたりの負担せん断力

高力ボルトの許容耐力計算値 cP_s は、 R がボルト 1 本当たりのすべり耐力 R_s に達するときの荷重 P として求められる。

200,300-A のすべり荷重実験値 eP_s は cP_s を上回っている。200-C,D は小梁のねじれで最大耐力が決定したため、実際の仕口耐力は P_{max} 以上と評価でき、 P_{max} は cP_s を上回っている。同様に、300-C,D の P_{max} は cP_s と同等以上である。

A タイプでは、C タイプおよび D タイプに比べて早期に高力ボルトのすべりが生じた。これは仕口の回転剛性が低いためにボルト接合部に作用する曲げモーメントが増加したためであり、高力ボルトのすべり耐力自体が低下したためではないと考えられる。実務では、小梁が大梁図心位置で単純支持されている状態を想定することが一般的であり、この仮定に基づいてボルト接合部に作用する曲げモーメントを考慮すれば、A タイプについても許容耐力を安全側に評価できると考えらえる。

4. 結論

ガセットプレートおよびスチフナを簡略化した大梁—小梁仕口について、加力実験による検討を行った。スチフナのみを省略した C タイプは、一般的な D タイプと同等の構造性能を示した。ガセットプレートを縮小した A タイプは、C タイプおよび D タイプに比べて早期に高力ボルトのすべりが生じたが、これは仕口の回転剛性が低いためにボルト接合部に作用する曲げモーメントが増加したためであり、付加曲げを考慮すれば許容耐力を安全側に評価することができた。

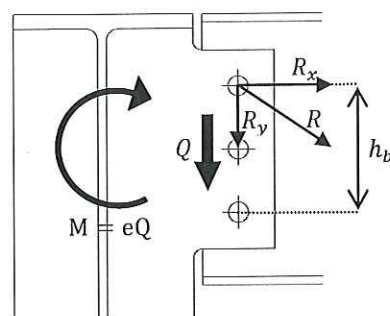


図 3 仕口応力状態

*横浜国立大学大学院

**横浜国立大学大学院 准教授 博士(工学)

***(株)角藤 博士(工学)

*Yokohama National Univ.

**Assoc.Prof., Yokohama National Univ., Dr.Eng.

***Kakuto Corporation., Dr.Eng.