

[108] 異種構造部材間の接合部に関する基礎的研究

森田 耕次 (千葉大学工学部)

正会員 ○立花 正彦 (東京電機大学工学部)

横山 幸夫 (千葉大学大学院)

1. 序

本研究は、鉄骨部材と鉄筋コンクリート部材との接合部における鉄骨とコンクリートとの付着性状及び最大耐力等の応力伝達機構等に着眼した実験的研究で、複合構造の設計及び鋼構造柱脚部の設計等に関する基礎資料を得ようとするものである。なお、本実験の一部は昭和56年度日本建築学会秋季大会において発表した。<sup>1)</sup>

2. 実験計画及び試験体の設計

使用鋼材はSM50A、主筋はSD30、帯筋はSR24及びコンクリートは第1種軽量コンクリートで、これら素材の機械的性質を表1に示す。

実験計画は表2に示す様に引き抜き力(Tシリーズ)、純曲げモーメント(Bシリーズ)及び曲げモーメントとせん断力(Qシリーズ)を作用させた三シリーズから成る。主な実験変数は鉄骨部材の鉄筋コンクリート部材への埋込み長さ $L=14, 21, 28\text{cm}$  ( $L/H=1.0, 1.5, 2.0$ ,  $H$ :鉄骨部材のせい)及び帯筋間隔 $100\text{mm}, 50\text{mm}$ である。

試験体はこれらの実験変数を組合せて表3に示すT及びBシリーズが各4体、Qシリーズが3体の合計11体である。なお、参考としてTシリーズの $L/H=1.5$ の試験体ではベースプレート(B.R-160×90×19)付きの試験体を作製した。

各シリーズの試験体の形状及び寸法を図1(a), (b)及び(c)に示す。鉄骨部材は溶接組立てH形断面( $H-140 \times 70 \times 6 \times 6$ )で、鉄筋コンクリート部材は $B \times D = 200$  (又は $210$ )  $\times$   $270$ , 主筋 $4-D13$ 又は $8-D16$ である。載荷はすべて単調載荷とした。なお、コンクリートは鉄骨部材方向から縦打ちとした。また、試験体名称は例えばB1.5(100)は純曲げモーメント(Bシリーズ)、鉄骨部材の埋込み長さ $21\text{cm}$  ( $L/H=1.5$ ), 帯筋間隔 $100\text{mm}$ の試験体という様に付けた。

3. 加力方法と測定項目

各シリーズの加力方法を図2(a)(b)及び(c)に示す。試験体各部の変形量は図2に示す様に変位計(精度 $1/200\text{mm}$ )で測定した。また、試験体各部の歪値は図2に示す様にワイヤーストレインゲージを貼布して測定した。

表1 素材の機械的性質

	Point Yield Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Tensile Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)	Remarks
R19(SM50A)	315.1	499.8	28.8	(A)
R6(SM50A)	360.1	498.4	23.7	(A)
D16(SD30)	402.8	538.0	23.1	(B)
D13(SD30)	451.8	688.9	19.4	(B)
	421.6	604.1	20.0	(A)
	430.0	602.7	19.3	(B)
9#(SR24)	369.7	495.0	30.8	(A)
	306.7	420.4	30.2	(B)

Concrete	Maximum Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Maximum Compressive Strain(%)	Young's Modulus (N/mm <sup>2</sup> )	Slump (cm)	Remarks
Light-Weight (First-Class)	30.5	0.286	17450	19.8	(A)
	24.5	0.250	12400	22.6	(B)

(A): T1.0(100), T1.5(100), T1.5(100)B, T2.0(100), B1.5(50), B1.5(100)  
 (B): B1.0(50), B2.0(100), Q1.0(100), Q1.5(100), Q2.0(100)

表2 実験計画

	Hoop Pitch (mm)	L/H		
		1.0	1.5	2.0
T series	100	①	②	①
B series	50	1	①	-
	100	-	①	1
Q series	100	1	1	1

○ Number of Test Specimens transcribed from reference<sup>1)</sup>

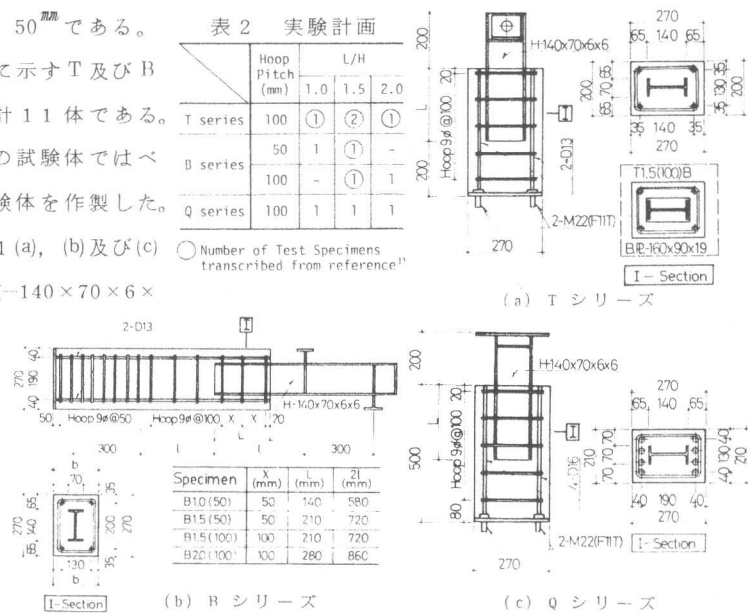


図1 試験体の形状と寸法

表3 試験体の一覧

Specimen	b x D	bar	L(mm)	L/H	Hoop Pitch 9#	Remarks
T1.0(100)	200 x 270	4-D13	140	1.0	100	
T1.5(100)	200 x 270	4-D13	210	1.5	100	
T1.5(100)B	200 x 270	4-D13	210	1.5	100	ベースプレート付き {B.R.-160x90x19}
T2.0(100)	200 x 270	4-D13	280	2.0	100	
B1.0(50)	210 x 270	4-D13	140	1.0	50	
B1.5(50)	200 x 270	4-D13	210	1.5	50	
B1.5(100)	200 x 270	4-D13	210	1.5	100	
B2.0(100)	210 x 270	4-D13	280	2.0	100	
Q1.0(100)	210 x 270	8-D16	140	1.0	100	
Q1.5(100)	210 x 270	8-D16	210	1.5	100	
Q2.0(100)	210 x 270	8-D16	280	2.0	100	

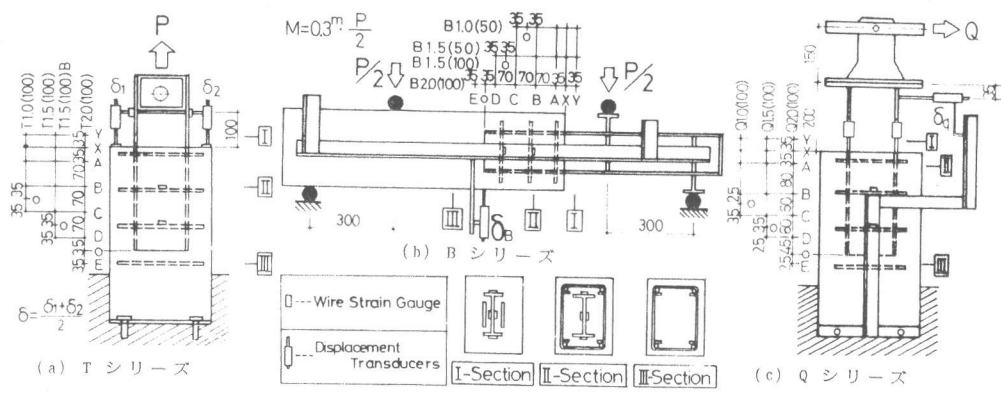


図2 加力方法及び測定方法

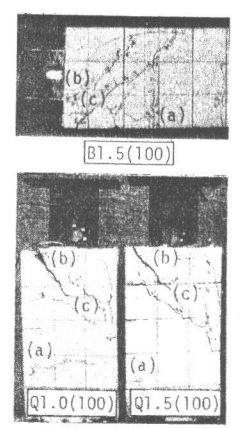


図3 ひび割れ状態

4. 実験結果

4-1. ひび割れ及び破壊状況

Tシリーズではベースプレート付試験体 T 1.5 (100) Bを除いた残りの試験体 3 体はすべて鉄骨部材が鉄筋コンクリート部材より抜け出して破壊している。これらの試験体は付着破壊したものと考えられる。T 1.5 (100) Bは試験体 T 1.5 (100) の最大耐力時迄はほぼ同じひび割れ状態を示し、その後はベースプレート下の鉄筋コンクリート部材の主筋の降伏により破壊している。

B及びQシリーズでは図3に示される様にほぼ同じひび割れ状態を示し、鉄筋コンクリート部分に曲げひび割れ(a)が発生し、その後引張側フランジとコンクリートとのつけ根にひび割れ(b)が発生する。その直後鉄骨の引張側フランジ部分から45°方向のせん断ひび割れ(c)が発生する。その後このせん断ひび割れ巾が大きくなりつつ引張側フランジが浮き上がり、このせん断ひび割れは圧縮側迄進行する。これらの挙動は実験変数にかかわらずほぼ同じである。

4-2. 荷重-変形曲線

各シリーズの荷重-変形曲線を図4(a)(b)及び(c)にそれぞれ示す。なお、図4(a)のTシリーズの縦軸は平均付着応力度 $\tau_b$  ( $= P/\phi_s \cdot L$ ; P:引き抜き力,  $\phi_s$ :鉄骨部材の周長)を、横軸は平均抜け出し量 $\delta'/L$  ( $\delta'$ :測定値より鉄骨の伸び量を差し引いた値)を表わす。

Tシリーズでは T 1.5 (100) Bを除き  $\delta'/L=0.5 \sim 0.6 \times 10^{-5}$  程度で埋込み長さにかかわらず大きく抜け始める。試験体 T 1.5 (100) B では T 1.5 (100) の最大耐力近傍迄は両試験体ともほぼ同じ挙動を示すが、その後 T 1.5 (100) では大きく抜け始めるのに対し、T 1.5 (100) Bではほぼ同一勾配で上昇する。

Bシリーズでは試験体 B 1.0 (50) 及び B 1.5 (100) ではひび割れ(b)及び(c)の発生により若干耐力の低下は認められるが、その後剛性は低いながらも徐々に耐力が上昇し、変形量が增大して最大耐力に達する。B 2.0 (100) ではひび割れ(b)(c)の発生後の剛性低下も小さく耐力は上昇し最大耐力に達する。B 1.5 (50) ではひび割れ(b)(c)の発生迄は B 1.5 (100) と同じ挙動を示す。これらひび割れ発生後は若干剛性は低下するが、最大耐力及び最大耐力時の変形量は B 1.5 (100) に比べて大きくなる。

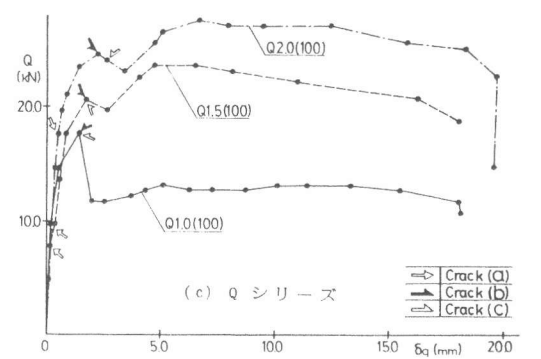
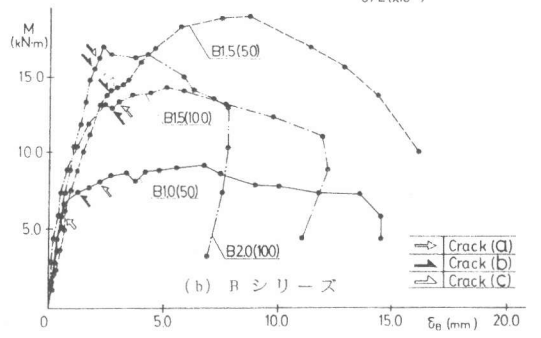
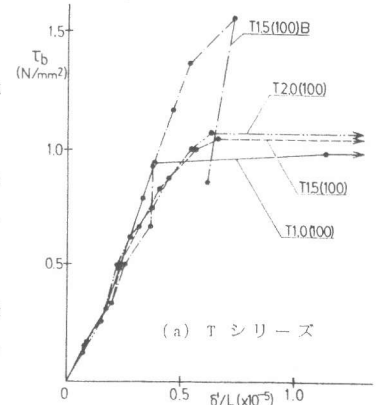


図4 荷重-変形曲線

Qシリーズでは試験体Q 1.0 (100)はひび割れ(b)及び(c)の発生により耐力は大きく低下し、その後の大変形時にはある程度の耐力を保持しつづけている。残りの試験体 Q 1.5 (100), Q 2.0 (100) ではひび割れ(b)及び(c)の発生後若干耐力が低下するが、その後変形を増大させるとさらに耐力は上昇し、最大耐力に達する。

#### 4-3. 鉄骨フランジの材軸方向歪分布状態

各シリーズの歪分布状態の代表例を図5に、また、各試験体の最大耐力時の歪分布状態を図6に示す。

鉄骨の埋込み長さにかかわらず鉄骨引張側の歪分布状態は、T及びQシリーズでは初期状態を除き凸形の形状を示し、また、Bシリーズではひび割れ(b)及び(c)の発生前はやや凹形であるが、発生後は直線分布からやや凸形の形状を示す。最大耐力時では各試験体共引張側で凸形の形状を示す。

#### 4-4. 帯筋の挙動

B及びQシリーズの帯筋の挙動を図7及び図8に示す。両シリーズの各試験体ともひび割れ(c)が発生する迄は帯筋の歪は50 $\mu$ 程度であるが、このせん断ひび割れが発生すると急激に増大し、最大耐力時には1000~2000 $\mu$ 程度の値を示し、ほぼ降伏歪近く迄達している。

#### 4-5. コンクリートの挙動

B及びQシリーズの鉄骨部材の埋込み側表面のコンクリートの歪値の挙動を図9及び図10に示す。両シリーズとも初期の段階ではほとんど動いていないが、荷重が増大してくるにつれ圧縮側に歪値が増大し、最大耐力時には500~800 $\mu$ 程度の圧縮歪値を示す。

### 5. 考察

Tシリーズの最大耐力( $eP_m$ )及び平均付着応力度( $m\tau_b$ )を表4に示す。表4より鉄骨とコンクリートとの平均付着応力度は埋込み長さにかかわらず $\tau_b = 1.8 \text{ N/mm}^2$ すなわち $\tau_b/F_c = 0.035$ となると考えられる。この値は鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準<sup>2)</sup>の短期許容値 $sfa = \{2/100 F_c \text{ か } 0.44\} \times 1.5 \text{ N/mm}^2$ に対して1.6倍程度である。

B及びQシリーズについて、ひび割れ(c)が発生した時点の耐力(以下ひび割れ耐力という)及び最大耐力について以下に考察する。

コンクリートの挙動が示されている図9及び図10より、初期の段階ではコンクリートに圧縮力が働いていないことから主に鉄骨部材からコンクリ

ートへは付着により応力が伝達され、荷重が増大するとコンクリートに圧縮力が働いていることから主に鉄骨とコンクリートとの支圧等により応力伝達が行なわれるものと考えられる。ひび割れはこの両者を加えた耐力で

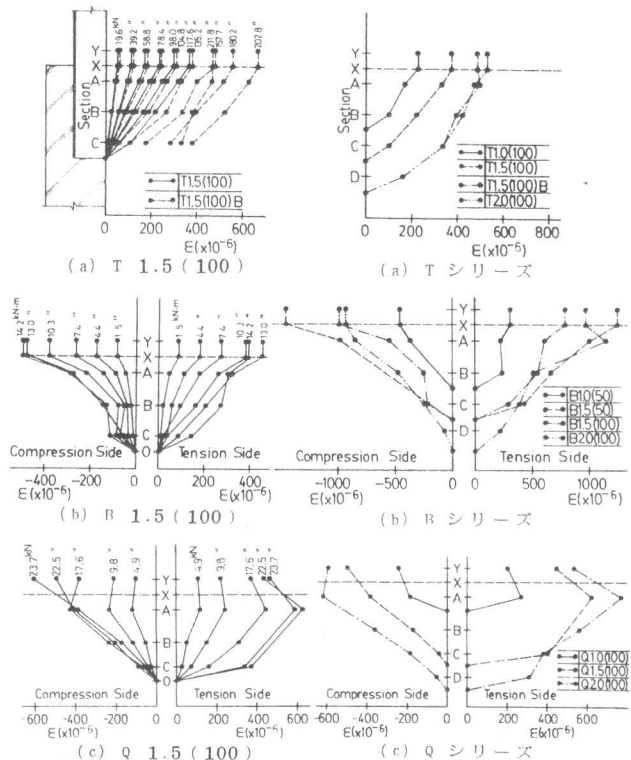


図5 鉄骨フランジの歪分布状態

図6 最大耐力時の歪分布状態

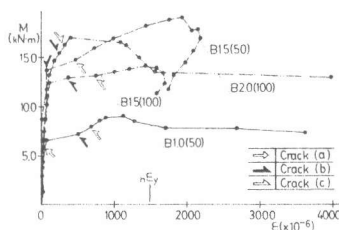


図7 Bシリーズの帯筋挙動

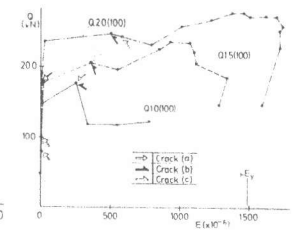


図8 Qシリーズの帯筋挙動

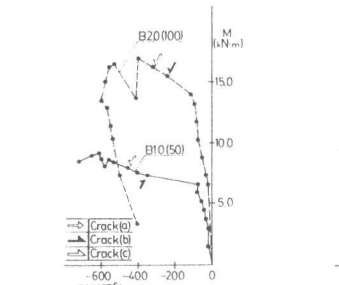


図9 Bシリーズのコンクリート挙動

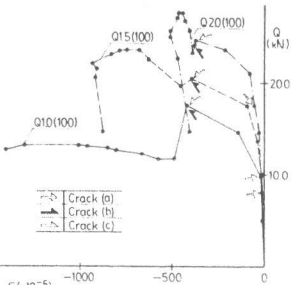


図10 Qシリーズのコンクリート挙動

表4 Tシリーズの実験結果

Specimen	$eP_m$ (kN)	$m\tau_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	$m\tau_b/F_c$	$m\tau_b/sfa$
T1.0(100)	79.4	1.03	0.034	1.56
T1.5(100)	122.5	1.06	0.035	1.60
T1.5(100)B	211.7	-	-	-
T2.0(100)	172.5	1.17	0.038	1.77

発生するものとする。すなわち、ひび割れ発生耐力の試験値より付着により伝達される耐力を差し引いた応力がコンクリートのひび割れ発生に直接関与したと考える。この応力は本実験の範囲内では埋込み長さによる影響は少なく、鉄筋コンクリート部材のせん断ひび割れ発生耐力<sup>3)</sup>

$$c\tau_{cr} = \alpha \cdot k_c \cdot (49 + F_c) \quad (M/Q \cdot d > 3)$$

を用いて計算すると $\alpha$ の平均値は0.013となる。

以上より、ひび割れ発生耐力は(1)式で表わされる。同式中の $A_b$ は片側フランジ表面積を表わすが、Qシリーズでは歪分布状態(図5参照)よりA断面の歪値がY断面の歪値より大きいことから有効埋込み長さは第1フープより下側とする。計算値と試験値との対応は表5に示す通り比較的良い対応を示すものと考えられる。

$$cM_{cr} = cM_b + cM_q \quad \dots\dots (B \text{ シリーズ})$$

$$cM_b = A_b \cdot 0.035 \cdot F_c \cdot j_s$$

$$cM_q = 0.013 \cdot k_c \cdot (49 + F_c) \cdot b \cdot j_r \cdot L$$

$$j_s : \text{鉄骨要素の応力中心間距離}$$

$$j_r : \text{鉄筋コンクリート要素の応力中心間距離}$$

$$cQ_{cr} = cM_b / l_h + cM_q / (l_h + L) \quad \dots\dots (Q \text{ シリーズ})$$

$l_h$  : 加力点から埋込まれたコンクリートの面迄

最大耐力はひび割れ発生後帯筋の歪値が大きくなり増大し、ほぼ降伏歪に達していること(図7及び図8参照)

帯筋量が増すと耐力が大きくなり上昇すること、せん断ひび割れ巾が増大し引張側フランジが浮き上がる時点でほぼ最大耐力となっていることなどから、最大耐力時には帯筋のみによって応力が伝達されるものと考え<sup>4)</sup>、(2)式により算出する(図11参照)。この計算値と試験値との比較は表5・6に示す様に良い対応を示すものと考えられる。

## 6. まとめ

以上の実験結果より下記の結論を得た。

- 1) 鉄骨とコンクリートとの最大平均付着応力度は埋込み長さにかかわらず $\tau_b = 0.035 F_c$ であった。また、ベースプレートは鉄骨とコンクリートとの付着破壊以後に大きく引き抜き力に低抗するものと考えられる。
- 2) 純曲げモーメント又は曲げモーメントとせん断力が作用した場合、鉄骨要素が埋込まれた鉄筋コンクリート部分のせん断ひび割れ発生耐力は(1)式により、また、最大耐力は(2)式により推定できるものと考えられる。

〔謝辞〕 本研究は昭和54年度文部省科学研究費(奨励研究A)及び昭和55年度東京電機大学研究振興会研究助成金によるものである。実験及びその資料整理に際し昭和56年度東京電機大卒論学生・大野明美(現・大野土建)女史、古明地正幸(現・東工大大学院)氏、武川弘文(現・日本システム工事)氏及び千葉大卒論学生洪瑞全(現・千葉大大学院)氏の協力を得た。これら関係各位に謝意を表す。

参考文献 1). 仲他「鉄骨要素と鉄筋コンクリート要素間の応力伝達に関する実験的研究(その1)(その2)」日本建築学会大会, 昭56.9 2). 「鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」日本建築学会, 3). 「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」日本建築学会, 4). 秋山「鋼構造柱脚の耐震設計上の問題点」日本建築学会大会, 昭55.9

表5 Bシリーズの実験結果

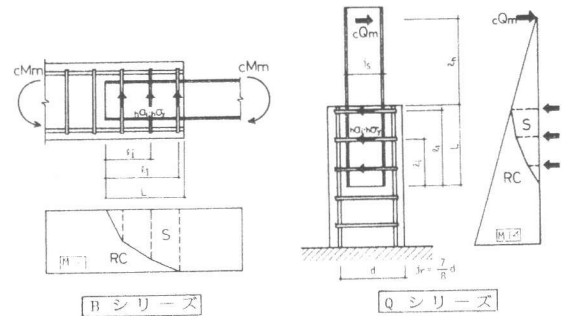
Specimen	eMcr	$\alpha$	eMcr/cMcr	eMm	eMm/cMm
B1.0(50)	7.4 (kNm)	0.012	0.92	9.2 (kNm)	1.12
B1.5(50)	14.0	0.016	1.08	19.0	0.88
B1.5(100)	12.5	0.013	0.96	14.2	1.08
B2.0(100)	15.4	0.013	0.96	19.1	1.02

注) プレフィクスeは実験値を示す。

表6 Qシリーズの実験結果

Specimen	eQcr	$\alpha$	eQcr/cQcr	eQm	eQm/cQm
Q1.0(100)	17.6 (kN)	0.016	1.13	13.2 (kN)	1.19
Q1.5(100)	20.6	0.011	0.91	23.7	1.22
Q2.0(100)	24.5	0.008	0.82	27.4	0.92

注) プレフィクスeは実験値を示す。



$$cM_m = \sum h a_i \cdot k \sigma_y \cdot l_i \quad (B \text{ シリーズ})$$

$$cQ_m = \sum h a_i \cdot k \sigma_y \cdot l_i / (l_h + L) \quad (Q \text{ シリーズ})$$

$h a_i$  :  $i$  番目の帯筋の総断面積

$l_i$  :  $i$  番目の帯筋の位置

$k \sigma_y$  : 帯筋の降伏応力度

図11 帯筋による応力伝達