

機械式定着による鉛直段差梁付きRC十字形接合部の設計終局耐力

DESIGN ULTIMATE STRENGTH OF R/C INTERIOR BEAM-COLUMN JOINTS WITH FLOOR LEVEL DIFFERENCE USING MECHANICAL ANCHORAGES

益尾 潔 ————— * 1

キーワード：

機械式定着、鉛直段差、十字形接合部、設計終局耐力、接合部有効せい、梁主筋定着長さ

Keywords:

Mechanical anchorage, Floor level difference, Interior beam-column joint, Design ultimate strength, Effective depth of joint, Development length of beam reinforcement

1. はじめに

鉄筋コンクリート建物では、建築計画上しばしば設けられる鉛直段差を有する鉛直段差梁付き十字形接合部は、図1のType AとType Bに大別される。Type Aは左右梁の上下面が一致しない場合、Type Bは左右梁の上面または下面が一致する場合である。

機械式定着工法による鉛直段差梁付き十字形接合部については、文献1)～7)の実験研究が行われている。しかし、これらの柱梁接合部の設計方法は必ずしも明確でない⁸⁾。本論文では、文献1)～7)の実験結果を踏まえ、機械式定着工法による鉛直段差梁付き十字形接合部の設計終局耐力の算定方法を明らかにする。

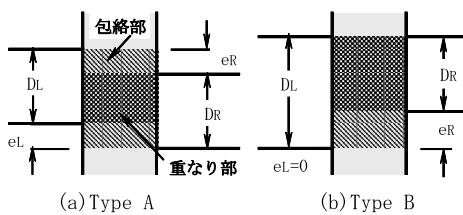


図1 段差梁付き十字形接合部の基本タイプ

2. 鉛直段差梁付き十字形接合部の基本事項

2.1 設計条件

梁主筋が定着破壊しなければ、図2のように、Type Aの場合、左右梁重なり部の入力せん断力 V_{h2} は仕口面側入力せん断力 V_{h1} よりも大きく、段差なし接合部の入力せん断力と同じになる。Type Bの場合も、左右梁重なり部の入力せん断力 V_{h2} は段差なし接合部の入力せん断力と同じになる。したがって、Type A, Type Bの終局強度設計用せん断力 V_{mu} は、段差なし十字形接合部と同様、梁曲げ終局耐力時柱せん断力 cQ_{gu} を用いると、式(1)で算定できる⁸⁾。

$$V_{mu} = \xi_h \cdot cQ_{gu} \quad (1)$$

$$cQ_{gu} = \{(M_{guo} + M_{guo}') / \ell_o\} \cdot (\ell/h) \quad (2)$$

$$\xi_h = (h/\ell) \cdot (\ell_o/jtg) - 1 \quad (3)$$

Kiyoshi MASUO ————— * 1

Recently, ultimate strength of r/c interior beam-column joints with floor level difference using mechanical anchorages has been researched. However, design method of such joints is not necessarily clear. This paper shows its design criteria and mechanism based on past tests result. Consequently, estimation method of design ultimate strength of such joints is clarified.

ここに、 ℓ ：スパン長(柱心間距離)、 ℓ_o ：梁内法スパン長、 h ：階高
 $jtg = (jtg_1 + jtg_2)/2$ 、 jtg_1, jtg_2 ：左右梁上下主筋の重心間距離
 M_{guo}, M_{guo}' ：左右梁の曲げ終局耐力⁸⁾

両梁材端部仕口面での梁曲げ終局耐力 M_{guo} と M_{guo}' が同じ場合、式(1)による十字形接合部の終局強度設計用せん断力 V_{mu} は、ト形接合部の終局強度設計用せん断力の2.0倍になる。ここで、ト形接合部の場合も、梁主筋は定着破壊しないとする。

(注) (a) 図では、 $T_g = T_g'$, $C_g = C_g'$ を仮定し、 $V_{h2} = V_{h1} + C_g = V_{h1} + C_g'$ としている。

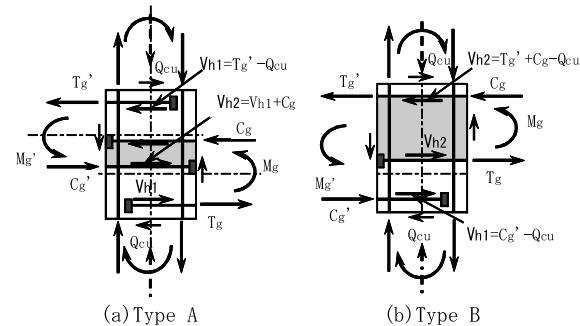


図2 段差梁付き十字形接合部の入力せん断力

ト形および十字形接合部のせん断終局耐力 V_{pu} は、式(4)で算定できる⁹⁾。同式中の $\phi \cdot F_j \cdot b_j$ が同じ場合、梁主筋定着長さ ℓ_{ag} を $(3/4)D_c$ とすると、ト形接合部に対する十字形接合部のせん断終局耐力の比は $1/(0.7 \times 3/4) = 1.90$ となる。 D_c は柱せいを示す。

$$V_{pu} = \kappa_u \cdot \phi \cdot F_j \cdot b_j \cdot D_{jh} \quad (4)$$

ここに、 κ_u ：柱梁接合部の形状係数

(ト形接合部： $\kappa_u=0.7$ 、十字形接合部： $\kappa_u=1.0$)

ϕ ：直交梁の有無による補正係数

F_j ：コンクリート基準せん断強度

b_j ：接合部有効幅、 D_{jh} ：接合部有効せい

ト形接合部： $D_{jh} = \ell_{ag}$ 、段差なし十字形接合部： $D_{jh} = D_c$

ト形および十字形接合部の設計条件は式(5)となるので、ト形接合部に対する十字形接合部の同式中の接合部耐力余裕度 λ_p の比は

*1 (一社) 建築構造技術支援機構 代表理事・工博
(〒564-0052 大阪府吹田市広芝町3-29)

*1 Supporting Association for Building Structural Technology, Dr. Eng.

1. $90/2.0=0.95$ となる。すなわち、段差梁付き十字形接合部の場合、ト形接合部と見なすよりも段差なし十字形接合部と見なして設計する方が安全側となる。

$$V_{puh} > \lambda_p \cdot V_{muh} \quad (5)$$

2.2 抵抗機構

機械式定着工法による鉛直段差梁付き十字形接合部の場合、図3に示すように、重なり部梁主筋の定着形式には、重なり部梁主筋を反対側の最外縁柱主筋の外側で定着する貫通定着および柱梁接合部内に定着する非貫通定着がある。

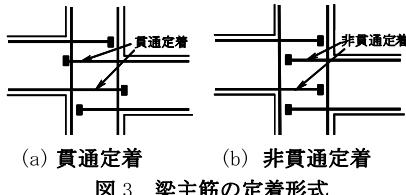


図3 梁主筋の定着形式

文献1)の実験によると、重なり部梁主筋を貫通定着としたType Aの段差梁付き十字形接合部では、図4に示すように、正負加力時ともに、左右梁の引張側梁主筋定着部から材端部圧縮域に向かうストラットC1と接合部中央のストラットC2の効果を期待できる。これらより、 $D_{jh}=D_c$ として接合部せん断終局耐力を算定してもよいと考えられる。

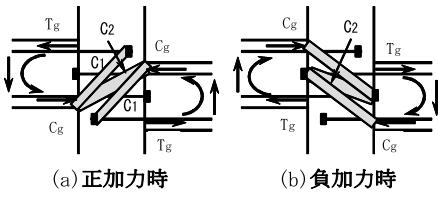


図4 Type A(貫通定着)段差梁付きの抵抗機構

重なり部梁主筋を貫通定着としたType Bの段差梁付き十字形接合部では、図5に示すように、ストラットC1, C2が形成されるので、 $D_{jh}=D_c$ として接合部せん断終局耐力を算定してもよいと考えられる。図4, 図5は、梁主筋定着金物から派生するストラットに着目した図であり、実際には、上下柱の圧縮域間を結ぶストラットも生じる。

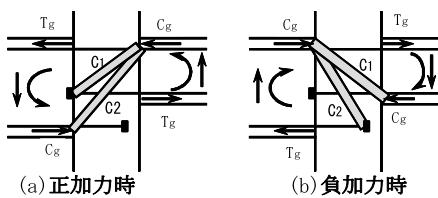


図5 Type B(貫通定着)段差梁付きの抵抗機構

文献5)の実験によると、重なり部梁主筋を非貫通定着としたType Aの段差梁付き十字形接合部の場合、図6に示すように、左梁下端筋および右梁上端筋が引張側となる負加力時の最大耐力は、同梁主筋が圧縮側となる正加力時よりも低く、同梁主筋定着部近傍の接合部コンクリートのひび割れ幅が拡大する傾向がある。すなわち、

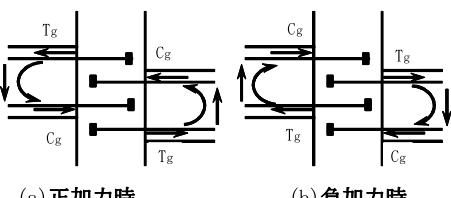


図6 Type A(非貫通定着)段差梁付きの抵抗機構

非貫通定着の場合、接合部せん断終局耐力は、 $D_{jh}=D_c$ とせず、ト形接合部と同様、 $D_{jh}=\ell_{ag}$ として算定した方がよいと考えられる。

3. 検討対象試験体

本章では、4章および5章で検討する文献1)~7)の機械式定着工法による鉛直段差梁付き十字形接合部試験体の概要について述べる。検討対象試験体の主な諸元を表1に示す。

文献1)~5)の実験はType A、文献6), 7)の実験はType Bの段差梁付き十字形接合部試験体(18体)について行われている。Type A試験体の左右梁の断面寸法および配筋はそれぞれ同じである。表1中の重なり率および定着筋率は、下式で定義される(図1参照)。

$$\text{重なり率} = W/\max(D_L, D_R) \quad (6)$$

$$W = \{D_L + D_R - (e_L + e_R)\}/2 : \text{左右梁の重なり寸法}$$

$$D_L, D_R : \text{左右梁せい}, e_L, e_R : \text{左右梁の鉛直段差寸法}$$

$$\text{定着筋率} = (n_{a1} + n_{a2}) / (n_1 + n_2) \quad (7)$$

$$n_{a1}, n_{a2} : \text{梁1段筋と2段筋の定着筋本数}$$

$$n_1, n_2 : \text{梁1段筋と2段筋の全引張鉄筋本数}$$

以下に、各実験計画の概要を示す。

- 文献1)の段差付き試験体はType Aで、重なり部梁主筋は貫通定着とし、段差なし試験体との違い、両側直交梁付きと直交梁なしとの違い、梁主筋の鋼種(SD490とUSD685)の違いを調べている(図7)。ただし、段差なし試験体はスラブ付きとしている。
- 文献2)の試験体はType Aの片側直交梁付きで、重なり部梁主筋は非貫通定着とし、上端筋と下端筋の本数を変えている。
- 文献3)の試験体はType Aで、重なり部梁主筋は非貫通定着とし、梁主筋の鋼種(SD490とUSD685)の違いを調べている。
- 文献4)の試験体では、圧縮強度 σ_B が95N/mm²程度の高強度コンクリートを用いた場合について、Type Aの段差付き試験体と段差なし試験体との違いを調べている。
- 文献5)の試験体はType Aで、重なり部梁主筋は非貫通定着とし、重なり率(75%, 50%, 0)の違いを調べている(図8)。
- 文献6)の試験体はType Bで、重なり率を67%とし、せいの大きい方の梁主筋本数およびコンクリート圧縮強度 σ_B の違いを調べている(図9)。
- 文献7)の試験体はType Bで、左右梁せいを変え、重なり率

表1 検討対象実験の概要

段差 Type	試験 体	σ_B (N/mm ²)	梁・柱断面寸法 (mm)				梁主筋		重なり 率	定着 筋率	定着 形式	文献
			Bg	Dg	Bc	Dc	配筋	鋼種				
無	No. 1	68.5							—	100%	0	A
TypeA	No. 2	300	450	450	450		8-D19	SD490	0.8	78%	100%	B
	No. 5	65.2						USD685				1)
	No. 7	63.6					6-D19	USD685	0.76	78%	100%	C
TypeA	正加力	53.9	300	450	450	450	4-D19	USD685	0.76	78%	100%	2)
	負加力						6-D19	SD490	0.75	75%	100%	C
TypeA	No. 4	53.1	280	400	420	420	7-D19	USD685	0.75	75%	100%	3)
	No. 5	59.2										
無	No. 1	94.7	250	400	400	400	8-D19	SD490	—	100%	0	A
TypeA	No. 2	94.1						SD490	0.85	80%	100%	C
	0.25D									75%		4)
TypeA	0.5D	21.1	300	400	350	350	4-D22	SD490	0.75	50%	100%	C
	1.0D									0%		5)
TypeB	No. 1	48.4					7-D19					
	No. 2	325	450	475	475		10-D19	SD490	0.80	67%	43%	A+C
	No. 3	55.9					7-D19				60%	6)
TypeB	No. 1		300						—	100%		A
	No. 2	33.2	250	400	350	350	4-D22	SD490	0.75	75%	0	上筋A 下筋C
	No. 3	450								67%		7)

(注) σ_B : コンクリートの圧縮強度、 B_g, D_g : 梁幅、せい、 B_c, D_c : 柱幅、せい
 ℓ_{ag} : 梁主筋定着長さ、(定着形式)A: 通し筋、B: 貫通定着、C: 非貫通定着
文献1)の試験体No.1, No.2は両側直交梁付き接合部

(100%, 75%, 67%) の違いを調べている。ただし、梁上端筋はすべて通し筋とし、梁下端筋はすべて柱梁接合部に定着している。

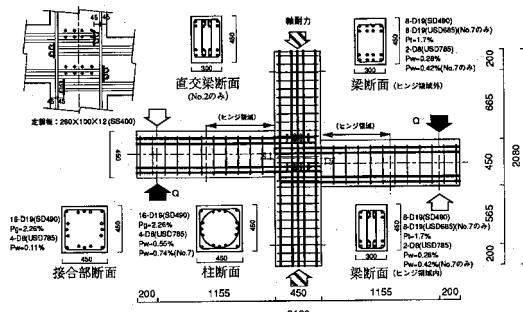


図7 文献1)の試験体(TypeA:貫通定着)

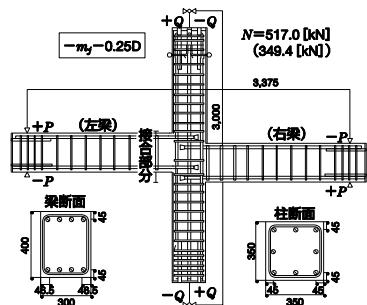


図 8 文献 5) の試験体 (TypeA: 非貫通定着)

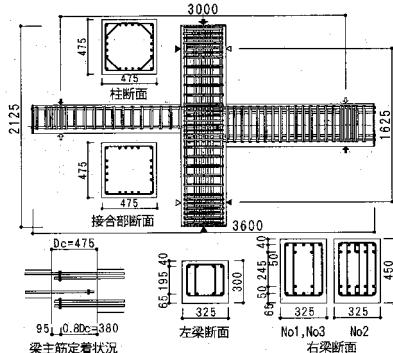


図9 文献6)の試験体(TypeB)

4. Type A 段差梁付き十字形接合部の検討

4.1 実験結果に基づく設計条件

検討対象試験体の計算耐力および実験値を表2に示す。これらを基に、Type A 段差梁付き十字形接合部の設計条件について検討する。表2中、梁曲げ終局耐力時柱せん断力 $c_{Q_{pu}}$ および接合部せん断耐力時柱せん断力 Q_{pu} は、段差なし接合部と同様、文献8)の設計式によって算定した。 R_{80} は、耐力が最大耐力 Q_{max} の 80%に低下した時の限界層間変形角実験値であり、実験結果の破壊形式を併記した。

文献 2) の試験体では、梁上端筋と下端筋の本数が異なるので、表 2 に示すように、梁上端筋が引張側になる正加力および下端筋が引張側になる負加力について、それぞれ梁曲げ終局耐力時柱せん断力 cQ_{gu} を算定した。

(1) 貫通定着の効果

文献 1) の実験では、Type A の貫通型定着による段差梁付き試験体 No. 2 の最大耐力実験値 Q_{max} は段差なし試験体 No. 1 よりも低いが、

限界層間変形角実験値 R_{80} は段差なし試験体 No. 1 と同程度であり、梁曲げ降伏後の変形性能が確保される。これは、試験体 No. 2 での梁主筋の貫通定着の効果によると考えられる。また、試験体 No. 1において $Q_{max}/c_{GQu}=1.65$ と大きな値になった理由は、同試験体がスラブ付き T 形断面梁としていたためであると考えられる。

文献 5) の実験によると、重なり部内の左右梁主筋がそれぞれ引張側になる加力時には、重なり部内の左右梁主筋が定着される接合部領域でコンクリートのひび割れ幅が顕著に拡大し、同加力時の最大耐力実験値は反対側の加力時よりも低下した。ただし、文献 5) の各試験体の最大耐力実験値 Q_{max} は、 $D_{jh} = \ell_{ag}$ として算定した接合部せん断終局耐力時柱せん断力 Q_{pu} を上回る。

表2 検討対象試験体の計算耐力および実験値

段差 Type	試験 体	計算耐力			実験結果					文献
		cQgu (kN)	Qpu (kN)	Qpu /cQgu	Qmax (kN)	Qmax /cQgu	Qmax /Qpu	R80 (%)	R80 (<10%)	
無	No. 1	462	676	1.46	761	1.65	1.13	50	B	1)
	No. 2	478	676	1.41	668	1.40	0.99	50	B	
TypeA	No. 5	478	555	1.16	685	1.43	1.23	50	B	1)
	No. 7	724	546	0.75	777	1.07	1.42	50	BP	
TypeA	正加力	645	500	0.78	672	1.04	1.34	30	BP	2)
	負加力	478	578	1.21	689	1.44	1.19	50	B	
TypeA	No. 4	383	330	0.86	466	1.22	1.41	50	BP	3)
	No. 5	623	341	0.55	642	1.03	1.88	30	P	
無	No. 1	238	328	1.38	379	1.59	1.16	45	B	4)
	No. 2	238	277	1.16	379	1.59	1.37	45	B	
TypeA	0.25D	192	64	0.33	99	0.52	1.55	32	P	5)
	0.5D	192	64	0.33	110	0.57	1.72	30	P	
TypeB	1.0D	332	53	0.16	61	0.18	1.15	30	P	6)
	No. 1	336	432	1.29	532	1.58	1.23	80	B	
TypeB	No. 2	419	410	0.98	648	1.55	1.58	40	BP	7)
	No. 3	336	478	1.42	534	1.59	1.12	80	B	
TypeB	No. 1	139	75	0.54	100	0.72	1.33	40	P	7)
	No. 2	172	95	0.56	125	0.73	1.31	40	P	
TypeB	No. 3	188	106	0.56	135	0.72	1.28	40	P	

(注) Q_{\max} : 最大耐力実験値, R_{30} : 限界層間変形角実験値
 $\phi_{Q_{\max}}$: 柔曲げ終局耐力時柱せん断力, Q_{pu} : 接合部せん断終局耐力時柱せん断力
(破壊形式)B: 柔曲げ破壊型, BP: 柔曲げ降伏後の接合部せん断破壊型
P: 接合部せん断破壊型

(2) 重なり部の効果

Type A 段差梁付き試験体の重なり率は、表 1 に示すように、文献 1) の貫通型定着試験体では 78%、文献 2)～5) の非貫通型定着試験体では 0～80% である。これらによると

- 1) 貫通型定着の場合、重なり率が 75%以上であれば、 $D_{jh}=D_c$ として接合部せん断終局耐力を算定してもよい。

2) 非貫通型走査の場合、重なり

率に保わらす, $D_{jh} = \ell_{ag}$ として接合部せん断終局耐力を算定してもよい。ただし、文献5)による重なり率0の試験体1.0Dの実験によると、接合部せん断終局耐力は、左梁または右梁がそれぞれ接続するト形接合部として算定する必要がある(図10参照)。

(2) 東京港の熱風

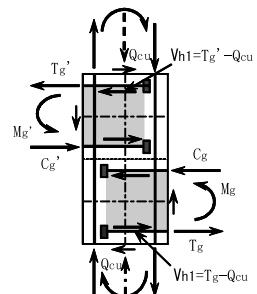


図10 重なり率0段差梁付き
十字形接合部の入力せん断力

(3) 直父業の効果

後差し梁付きの直交梁による接合部被覆率は、左梁または右梁が接続する柱梁接合部側面の見付け面積に対する見付け面積内の直交梁断面積の比率と定義される⁹⁾。この定義によると、文献1)の両側直交梁付き試験体No.1およびNo.2の接合部被覆率は $300\text{mm} \times 350\text{mm} / (450\text{mm} \times 450\text{mm}) = 52\%$ である。

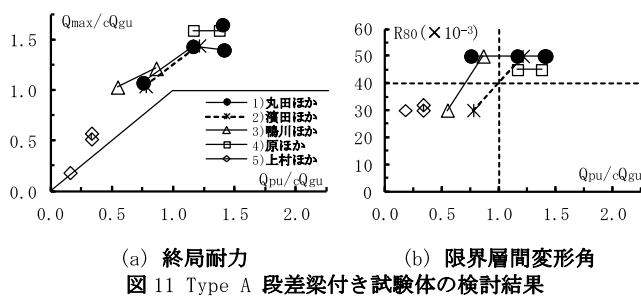
表 2 に示すように、両試験体とともに、接合部耐力余裕度 Q_{pu}/eQ_{gu} が 1 以上の梁曲げ降伏先行型であるが、最大耐力実験値 Q_{max} は、直

交梁の有無による補正係数 ϕ を 1.0 として算定した接合部せん断耐力時柱せん断力 Q_{pu} を概ね上回る。

4.2 終局耐力および変形性能の評価

Type A 段差梁付き試験体の終局耐力と限界層間変形角 R_{80} の検討結果を図 11 に示す(表 2 参照)。これらによると、

- 1) Type A 段差梁付き試験体の接合部せん断耐力時柱せん断力 Q_{pu} および梁曲げ終局耐力時柱せん断力 cQ_{gu} は、概ね接合部せん断余裕度 $Q_{pu}/cQ_{gu}=1$ を境に、それぞれ最大耐力実験値 Q_{max} に対して安全側に評価される。
- 2) $Q_{pu}/cQ_{gu} \geq 1$ の限界層間変形角実験値 R_{80} は、梁曲げ降伏型十字形接合部の目標性能(40×10^{-3} rad. 以上)を満足する。 40×10^{-3} rad. は、韌性保証型設計指針⁹⁾に示された梁の終局部材角の目安値(1/50)の 2 倍である。
- 3) Type A 試験体では、表 2 に示すように、接合部せん断余裕度 Q_{pu}/cQ_{gu} が 0.75 程度以上の場合、耐力安全率 Q_{max}/Q_{pu} は 1 以上となり、破壊形式は梁曲げ降伏後の接合部破壊となった。



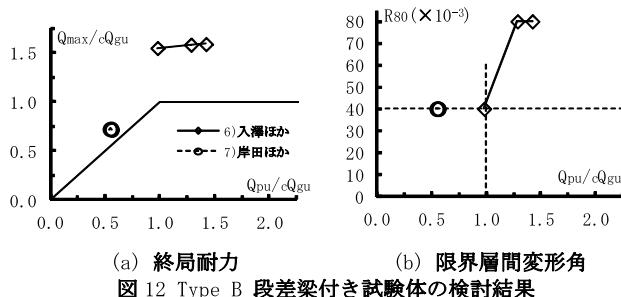
(a) 終局耐力 (b) 限界層間変形角
図 11 Type A 段差梁付き試験体の検討結果

5. Type B 段差梁付き十字形接合部の検討

Type B 段差梁付き試験体の終局耐力と限界層間変形角の検討結果を図 12 に示す(表 2 参照)。

文献 6) の試験体では、梁上端筋の定着筋率が 43% と 60% の非貫通定着であるが、接合部有効せい D_{jh} は柱せい D_c と等しいとした。文献 7) の試験体では、梁上端筋はすべて通し筋であり、接合部有効せい D_{jh} は柱せい D_c と等しいとした。図 12 によると、

- 1) Type A 試験体と同様、Type B 段差梁付き試験体の接合部せん断耐力時柱せん断力 Q_{pu} および梁曲げ終局耐力時柱せん断力 cQ_{gu} は、概ね接合部せん断余裕度 $Q_{pu}/cQ_{gu}=1$ を境に、それぞれ最大耐力実験値 Q_{max} に対して安全側に評価される。
- 2) $Q_{pu}/cQ_{gu} \geq 1$ の限界層間変形角実験値 R_{80} は、梁曲げ降伏型十字形接合部の目標性能(40×10^{-3} rad. 以上)を満足する。
- 3) Type B 試験体では、接合部せん断余裕度 Q_{pu}/cQ_{gu} が 1 をやや下回っても、Type A 試験体と同様、破壊形式は梁曲げ降伏後の接合部破壊となった。



(a) 終局耐力 (b) 限界層間変形角
図 12 Type B 段差梁付き試験体の検討結果

6. まとめ

本論文では、Type A および Type B の段差梁付き十字形接合部の設計条件および抵抗機構について考察し、文献 1)~7) の実験を基に、段差梁付き十字形接合部のせん断耐力に対する(1)貫通定着の効果、(2)重なり部の効果、(3)直交梁の効果について検討した。

これらの検討結果を基に、段差梁付き十字形接合部について、以下の設計条件を得た。

- 1) Type A の段差梁付き十字形接合部では、重なり部梁主筋が貫通定着の場合、重なり率が 75% 以上であれば、左右梁の引張側梁主筋定着部から材端部圧縮域に向かうストラットおよび接合部中央のストラットの効果より、接合部せん断耐力 V_{puh} は、 $D_{jh}=D_c$ として式(4)で算定してもよい。
- 2) Type B の段差梁付き十字形接合部では、重なり部梁主筋が通し筋または定着筋率 50% 以上の貫通定着の場合、重なり率が 67% 以上であれば、接合部せん断耐力は、 $D_{jh}=D_c$ として式(4)で算定してもよい。ただし、重なり部梁主筋が上記の条件を満足しない場合、重なり率に係わらず、ト形接合部と同様、 $D_{jh}=\ell_{ag}$ として算定した方がよい。また、重なり率 0 の場合、接合部せん断耐力は、左梁または右梁が接続する 2 つのト形接合部として算定する。
- 3) 段差梁付き十字形接合部の接合部せん断耐力は、段差なし接合部と同様、両側の接合部被覆率が 50% 以上の場合、 $\phi=1$ として式(4)で算定してもよい。

参考文献

- 1) 中村雅彦、別所佐登志、丸田誠：高強度材料を用いた超高層 RC 造柱・はり部分骨組の水平加力実験（その 2. 段差ぱり骨組），日本建築学会大会梗概集、構造 II，pp. 869~870，1993.9
- 2) 濱田真、吉松賢二、石橋久義、堀江啓：梁主筋を機械式定着した接合部の実験、日本建築学会大会梗概集、構造 IV，pp. 569~570，1998.9
- 3) 鴨川直晶、今西語龍、山口芳之、日高雅樹、中岡章郎：高強度材料を用いた超高層鉄筋コンクリート造柱梁接合部に関する実験的研究 その 2、日本建築学会大会梗概集、構造 IV，pp. 813~814，2000.9
- 4) 原孝文ほか 5 名：高強度材料を用いた RC 柱梁接合部架構の構造性能確認実験、日本建築学会大会梗概集、構造 IV，pp. 247~248，2001.9
- 5) 廣谷裕貴、上村智彦、石橋一彦、林静雄：機械式定着による段差梁を有する鉄筋コンクリート造梁・柱接合部の抵抗機構、JCI 年次論文集、Vol. 32, No. 2, pp. 319~324, 2010
- 6) 入澤郁雄、林和也、田中清：段差梁を有する鉄筋コンクリート造柱・梁接合部の力学的性状に関する実験的研究、日本建築学会大会梗概集、構造 IV，pp. 571~572，1998.9
- 7) 佐藤えり香、佐藤周平、岸田真司：左右の梁せいの異なる鉄筋コンクリート造柱梁接合部の終局強度に関する実験研究、日本建築学会大会梗概集、構造 IV，pp. 469~470，2010.9
- 8) 日本建築総合試験所・機械式鉄筋定着工法研究委員会：機械式鉄筋定着工法設計指針(2010 年改定)，2010.5
- 9) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の韌性保証型耐震設計指針・同解説、1999

[2012 年 10 月 10 日原稿受理 2013 年 1 月 22 日採用決定]