論文 段差梁を有する鉄筋コンクリート造梁・柱接合部の力学的挙動に関す る実験的研究

澤田 和宏^{*1}·藤塚 幹男^{*2}·石橋 一彦^{*3}·上村 智彦^{*4}

要旨:柱の左右の梁の軸芯ずれを変数とした段差梁接合部の実験を行い,段差梁を有する場合の接合部終局強度と接合部抵抗機構について検討したものである。左右の梁の軸芯がずれ,互いの梁芯が相互の断面内を通る場合のせん断耐力は軸芯ずれのない十字形に比べて上昇した。これは接合部の最もせん断力が大きくなる区間が小さいため,せん断耐力が上昇すると考えられる。また,梁主筋をU字型定着とした場合,折れ曲がり部での支圧力と接合部端コンクリート圧縮合力とで圧縮ストラットを形成していることを指摘した。 キーワード:段差梁,梁・柱接合部,U字型定着,接合部せん断耐力,ストラット機構

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造の構法では,梁に段差 を設ける場合がある。しかし,現在までに,本 研究で対象とする左右梁断面が同じで,段差梁 となる梁・柱接合部の力学的挙動に関する研究 は,大和田等¹⁾,鴨川等²⁾,中村等³⁾が接合部耐 力やせん断抵抗機構について検討を行っている が,不明な部分が多々ある。

梁・柱接合部を設計する際に用いられる靭性 保証型耐震設計指針・同解説⁴⁾の接合部せん断強 度式は、コンクリート強度と接合部形状及び直 交梁の有無に関係した式となっている。しかし ながら、この強度式では段差梁を有する場合の 接合部耐力を評価することはできない。

本研究では,特に段差梁を有する場合の接合 部終局強度の評価方法と接合部せん断抵抗機構 について重点を置き,実験的検討を行った。

2. 実験概要

試験体は,3 体(J-0, J-0.5D, J-2.5D)でパラメ ータは左右の梁の軸芯ずれとした。J-0 は梁主筋 を接合部内で U 字型配筋とした十字形接合部試 験体, J-0.5D は梁の軸芯ずれを 200[mm]とした 段差梁試験体, J-2.5D は梁の軸芯ずれを 1000[mm]としたト字形接合部試験体である。全 試験体を接合部破壊型として設計した。各試験 体の諸元および使用材料の性質を表-1,2に, また,形状・寸法を図-1に示す。形状以外は, 全試験体共通である。なお,梁主筋のU字型定 着は,既往の研究⁵⁾等により充分な定着性能が確 保できるとされている配筋方法である。

加力方法は,試験体の柱頭に一定圧縮軸力 735[kN](軸力比:0.2)を与え,梁端に変位制御に より正負交番繰り返し荷重(P)を加えた。

3. 破壊性状と破壊形式

図-2に正荷重時の梁端荷重(P)-層間変形角 (R)包絡線を,図-3に最終変形時のひび割れ状 況を,表-3に諸現象発生荷重を示す。

J-0 と J-0.5D は, 最大耐力時までに梁主筋は降 伏しなかったが, 接合部補強筋が降伏し, 耐力 低下を生じた。最大耐力以降, 接合部ひび割れ が顕著となりコンクリートの剥落が発生した。

J-2.5D は、下部接合部で最大耐力時に梁主筋

*1 清水建設(株) 工修 (正会員)
*2 東京工業大学大学院 総合理工学研究科
*3 千葉工業大学 工学部建築都市環境学科教授 工博 (正会員)
*4 芝浦工業大学 工学部建築学科教授 工博 (正会員)

試験	険体名	J-0	J-0.5D	J-2.5D				
梁軸芯	ずれ[mm]	0 200 100						
梁	主筋	2)					
214	補強筋	□-D10@150[mm] (SD295)						
<u>ti:</u>	主筋	8-D25(SD390)						
11	補強筋	□-D10@100[mm](SD295)						
接合部	補強筋比	0.39[%]	0.40[%]	0.39[%]				

表-1 試験体諸元

表一2 材料特性

牟士(这话衔	梁主筋	柱主筋	補強筋	
业人)	加加主天	D22	D25	D10	
降伏引	鱼度[MPa]	412	438	345	
ヤング係	数[×10 ⁵ MPa]	1.64	1.68	1.66	
	圧縮強度	[MPa]	$\sigma_{\rm B}=$	26.5	
ヨンク リート	ヤング係数[>	<10 ⁴ MPa]	Ec=2.677		
	最大荷重時	歪み[%]	0.1	82	



と接合部補強筋がほぼ同時に降伏し,耐力低下 を生じた。最大耐力以降,梁が降伏した下部接 合部にひび割れが集中した。そこで,上部接合 部の最大耐力を検証するために,左梁のみにせ ん断力を加え,それ以降は,左右の梁端に載荷 した。上下接合部でひび割れの進展,幅の拡大 が見られコンクリートの剥落が顕著に発生した。

これらの結果から, J-0 と J-0.5D は接合部破壊 型(J 型), J-2.5D は梁曲げ降伏後の接合部破壊型 (BJ 型)と判断した。





図-1 試験体の形状・寸法[mm]

4. 接合部耐力に関する検討

4.1 接合部パネルゾーンの水平せん断力

図-4~6に各試験体の接合部周りの応力状態を示す。梁に段差を有する場合には,接合部に入力されるせん断力が一様にならず,領域によって入力されるせん断力が異なると考えられる。そこで,各試験体の接合部せん断力(V_j)を最大耐力から算出するときの方法を以下に示す。

表-3	諸現象発生荷重	(梁せん断力(P)[kN])

試験体	最大 荷重	Ϋ́Υ.	Д. К	木	È	接合部				
		主筋降伏		曲げひび割れ		せん断ひび割れ		終局強度		
		計算值*1	実験値	計算值*2	実験値	計算值*3	実験値	計算値	実験値	
J-0	101.0		_	50.6	55.8	55.6	55.8	92.4 *4	101.0	
J-0.5D	115.3	133.7	—	54.8	55.3	55.6	52.5	92.4 *4	115.3	
J-2.5D	140.4		137.6	82.2	86.6	95.9	86.6	120.2 *5	140.4	

表中の*1~*5の説明を以下に示す。

*1 断面分割法による曲げ解析

*2
$$M_c = (_c \sigma_t + \sigma_0) \cdot Z_e \quad _c \sigma_t = 1.8 \sqrt{\sigma_B}$$

*3
$$V_j = j_c \cdot b_c \sqrt{c\sigma_t^2 + c\sigma_t} \cdot \sigma_0$$

主応力説: $c\sigma_t = 1.3\sqrt{\sigma_B}$

*4 十字形 V_{ju} =1.56 $\sigma_B^{0.712} \cdot b_j \cdot D_c$ (靭性指針式⁴⁾)

*5 ト字形 V_{ju}=1.13σ_B^{0.718}·b_j·D_c (靱性指針式⁴⁾)
 注) J-0.5D の接合部計算値は十字形として算出した

(*2~*5は, kgf 単位を使用)

(σ₀: 軸応力度
 Z_e: 断面係数
 b_j: 接合部有効幅
 j_b, j_e: 梁, 柱応力中心間距離
 M_e: 柱曲げひび割れモーメント
 b_c,D_c: 柱幅とせい
 V_j: 接合部せん断力

(1) J-0 試験体

J-0の接合部せん断力(*V_{j1}*)は,左右の梁から入力される力から求める。



(2) J-0.5D 試験体

J-0.5D の接合部せん断力は,左右の梁から力 が作用する領域(*V*_{*j*2-2})と,一方のみから力が作用 する領域(*V*_{*j*2-1,3})に分けられ,領域に入力されるせ ん断力は異なる。



(3) J-2.5D 試験体

J-2.5D のように短柱を形成する場合には、上下の接合部はト形接合部と同じ応力状態になると考えられる



4.2 接合部せん断強度式による評価

前節で求めた実験値(*V_j*)と靭性指針式による 計算値(*V_{iu}*)と共に**表-4**に示す。

接合部破壊の J-0・J-2.5D は,実験値と計算値 はほぼ同じである。J-0.5D の実験値 V_{j_2-2} は、J-0 の実験値 V_{j_1} を上回った。これは、段差梁接合部 は、十字形接合部よりも耐力が上昇することを 示している。従って、段差梁接合部では、最も 大きなせん断力が作用する V_{j_2-2} の領域で接合部 耐力を評価する必要がある。文献 6)で鉄骨造で はあるが同様の知見が示されている。

	J-0		J-2.5D		
	V_{jl}	V _{j2-1}	V _{j2-2}	V _{j2-3}	V _{j3-1,2}
$V_j(kN)$	863	427	985	427	520
$V_{ju}(kN)$	937	527	937	527	527
V_j / V_{ju}	0.92	0.81	1.05	0.81	0.99

表-4 靭性指針式との比較

注) $V_{j_{2-1}}$, $V_{j_{2-3}}$ の $V_{j_{u}}$ はト字形接合部, $V_{j_{2-2}}$ の $V_{j_{u}}$ は十字形として算出した値を示す。

4.3 シアースパン比による影響

図-7の縦軸に接合部せん断力の実験値を靭 性指針式による計算値で除した値をとり、シア ースパン比との関係を示す。図中には本研究室 で行ったアスペクト比(梁せい/柱せい)をパラメ ータとした実験結果⁷⁾と過去に行われた段差梁 の実験結果^{1),2),3)}を共に示す。また、シアースパ ン比の定義を図-8に示す。



図-7から、シアースパン比が小さくなると、 せん断耐力が上昇する。逆にシアースパン比が 大きくなると、*V_j*/*V_{ju}*が1を下回り危険側の評価 となる。靭性指針の接合部せん断強度式は、この ようなシアースパン比による耐力変動を考慮し ていない。段差梁接合部のせん断耐力を左右の 梁が重なり合う領域の接合部せん断力で評価す るならば耐力の上昇度を,アスペクト比とシア ースパン比が大きくなるような場合は,耐力低 下を考慮しなければならない。



5. 接合部せん断抵抗機構に関する検討

5.1 ストラット圧縮合力とストラット方向

文献 2),3)とは、定着方法が異なることを踏ま え、接合部への作用外力がストラット機構によ って伝達されると考え、実験により測定した梁 と柱の主筋の歪みから、接合部圧縮ストラット の応力状態について検討を行う。各成分の算出 方法を図-9に、各試験体の最大耐力時接合部 圧縮ストラット関連の各値を表-5に示す。ま た、図-10 に接合部端のコンクリート圧縮域の 形状から算出したストラット方向(θ_s)とストラッ ト圧縮合力方向(θ_{sr})を示す。

J-0の接合部端のコンクリート圧縮域の形状か

試験依	試験体名 ab[mm] a		a _c	[mm]	$C_{\rm H}[kN]$	Cv	[kN]	C _s [kN]	$\theta_{s}[rad]$	$\theta_{sr}[rad]$
1-0	右梁 42.6		99.0 256		700		745.5	0.05	1.22	
J-0 左羽	左梁	57.8	Ģ	98.8	327	7	707	778.5	0.95	1.14
105D	右梁	49.3	93.8		251	(551	698 1.12		1.20
J-0.3D 左羽		73.7	Ģ	93.1	377	6	550	751	1.15	1.05
上立7	上立	立 64.1	上	85.5	241	上	560	655	0.04	1.02
1.2.5D	니다고	04.1	下	80.8	541	下	637	637	0.94	1.02
J-2.3D	下立	08.1	上	88.9	540	上	701	701	0.04	0.87
	비미미	70.1	下	95.6	540	下	644	840	0.94	0.07

表-5 接合部ストラット成分の各値

注) 表中の記号については, 図-9,10 参照



図-9 ストラット機構と構成成分の算出方法

ら算出した角度(θ_s)とストラット合力の角度(θ_{sr}) は一致しなかった。ストラット合力の角度(θ_{sr}) から,ストラット合力方向は,梁主筋の折れ曲 がり部に向かっていると考えられる。J-0は,十 字形接合部であるが,配筋が U字型定着である ことから,接合部端からの圧縮合力は梁主筋の 折れ曲がり部での支圧力と釣り合っていると思 われる。J-0.5D・J-2.5D も同様に,接合部端コン クリート圧縮域から梁主筋の折れ曲がり部に向 かって,主たるストラットを形成している。

5.2 ストラット圧縮合力と支圧力との釣り合い

表-6に支圧力(T_d)とストラット合力方向の ストラット幅(a_s)及び圧縮ストラット応力度(σ_s) を示す。支圧力(T_d)の算出方法⁸⁾を図-11に示す。

梁からの支圧力はストラット圧縮合力の約80 ~90%を占めていることが分かる。残りのスト ラット合力は、それぞれの対角線方向のコンク リート圧縮域で負担していると考えられるが、



試験体名		T[kN]	T _d [kN]	C _s [kN]	T_d/C_s	a _s [mm]	$\sigma_{s}[MPa]$
J-0	右梁	335	568	746	0.76	108	21.3
	左梁	383	641	779	0.82	114	21.0
J-0.5D	右梁	360	602	698	0.86	105	20.4
	左梁	443	723	751	0.96	118	19.7
J-2.5D	上部	504	722	655	1.10	106	19.0
	下部	638	907	840	1.08	125	20.7

表-6 支圧力とストラット圧縮応力度

注) 表中の記号については, 図-9, 11 参照

支圧力による釣り合いが支配的であると言える。 また,各試験体共に最大耐力時にストラット圧 縮応力度がひび割れにより圧縮強度が低下する ことを考慮した有効圧縮($v\sigma_B=18.2[MPa]$)⁹⁾に達 しており,接合部は圧壊していると考えられる。





- 段差梁接合部のせん断耐力は十字形に比べて上昇し、最もせん断力が大きくなる領域で評価する必要がある。
- シアースパン比が変化する場合の接合部耐力を靭性指針式では評価できない。
- 3) 梁主筋を接合部で U 字型定着とした場合, 主に,折れ曲がり部での支圧力と接合部端 コンクリート圧縮合力間で釣合いを形成す る。

参考文献

 石飛英輝, 大和田義正: 段差梁を持つ鉄筋コ ンクリート柱梁接合部の終局強度に関する 実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概 集, pp.195-196, 2001.9

- 中村雅彦ほか: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 段差梁骨組),日本建築学会大会学術講演 梗概集,pp.869-870,1993.9
- 日本建築学会:鉄筋コンクリート造建物の靱 性保証型耐震設計指針・同解説, pp.243-249, 1999.8
- 5) 星野信夫ほか: RC はり・柱接合部のU 字型 定着法に関する研究,日本建築学会大会学術 講演梗概集, pp.1463-1464, 1976.10
- 6) 平野道勝ほか:段差を有する柱はり接合部の 力学的性状に関する実験報告,日本建築学会 構造系論文報告集,pp.27-35,1991.7
- 7) 田中信也、上村智彦ほか:鉄筋コンクリート 造内部梁・柱接合部の破壊性状への接合部ア スペクト比の影響、コンクリート工学年次論 文報告集, Vol.26, No.2, pp.433-438, 2004.7
- 8) 日本建築学会:鉄筋コンクリート造建物の終 局強度型耐震設計指針・同解説,pp.163-166, 1990.11
- 9) 長沼一洋ほか:ひび割れたコンクリートの圧縮特性に関する研究, JCI コロキウム「RC構造のせん断設計法に関する解析的研究」論文集, pp.23-30, 1989.10