(24) コンクリート充填鋼管柱フラットスラブ 接合部の構造性能に関する研究

久保田 淳1・福元 敏之2・荻原 行正3・村松 清一4・吉貝 滋5

¹ 会員	鹿島建設株式会社	技術研究所(〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1)								
		E-mail:jkubota@kajima.com								
2会員	鹿島建設株式会社	技術研究所(〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1)								
	E-mail:fukumoto-to@kajima.com									
³ 会員	鹿島建設株式会社	建築管理本部(〒107-8348東京都港区赤坂6-5-11)								
		E-mail:ogihara@kajima.com								
⁴ 会員	鹿島建設株式会社	建築設計本部(〒107-8502東京都港区赤坂6-5-30)								
		E-mail:smura@kajima.com								
5会員	鹿島建設株式会社	建築設計本部(〒107-8502東京都港区赤坂6-5-30)								
E-mail:yoshikai@kajima.com										

異種の構造部材を組み合わせた混合構造の一つに,コンクリート充填鋼管柱フラットスラブ構造がある. 本研究では,柱スラブ接合部に設けるキャピタルを無くし,生産性を向上させた簡易な接合法を考えた. この接合法を用いた場合の柱周囲のスラブの押し抜きせん断挙動の把握のために,シアコネクタ種類(ジ ベルおよびスタッド),せん断スパン比,シアコネクタ形状をパラメータとした柱スラブ接合部の押し抜 きせん断実験を実施した.その結果,ジベル形式では,ジベル出寸法の違いによる荷重-変形関係および 破壊性状の差異は見られなかった.また,初期剛性は柱とスラブの接合をピン接合として評価する必要が あること,最大耐力についてスラブ筋の効果を考慮した計算値と実験値が良い対応を示すことが分かった.

Key Words : concrete-filled steel tubular Column, flat slab, slab- column connection, shear connector, punching shear strength

1. はじめに

鋼管にコンクリートを充填したコンクリート充填鋼管 (CFT)構造は,現状CFT柱鉄骨梁の混合構造として, 事務所ビル,商業施設などの地上躯体に多用されている. これらの建物の地下躯体では,地震力を主に外周の鉄筋 コンクリート(RC)造の壁で負担し,内部の架構は鉄 骨鉄筋コンクリート(SRC)造又はRC造とし,鉛直力 のみを支持させる設計が一般的である(図-1上).この 鉛直力を支持する内部架構にCFT柱フラットスラブ架構 (図-1下)を適用することで,地下躯体の生産性の向上 が図れる.また,本架構は,工場や倉庫といった地震力 を十分に負担できる耐震壁を有する建物の地上躯体にも 適用が可能と考えられる.

本研究では,柱スラブ接合部に設けるキャピタルを無 くし、孔あき鋼板ジベルおよび頭付きスタッド(以下, ジベルおよびスタッド)を用いた簡易な接合法を考えた (図-3).ジベル形式は,柱鋼管に縦に配置した孔あき 鋼板の孔に鉄筋を貫通させ,孔中のコンクリートと貫通 筋のせん断抵抗により,スタッド形式は,柱鋼管のスラ



ブ内に埋め込まれる部分に溶接されたスタッドのせん断 抵抗により,スラブに作用する鉛直力を柱に伝達する接 合法である. この柱スラブ接合部で検討すべき構造性状として,柱 周囲のスラブの押し抜きせん断挙動とシアコネクタによ る応力伝達が挙げられる.前者について,本構法では, 柱周囲にジベルやスタッドのようなシアコネクタが配置 されるため,一般的なRC柱フラットスラブ接合部とは ディテールが異なる.そこで,本研究では,考案の接合 法を用いた場合の,柱周囲のスラブの押し抜きせん断挙 動を把握するために実験を実施した.本報では,実験概 要,結果および既往耐力式¹²⁰による耐力計算値との比較 検討結果について報告する.

2. 試験体

試験体一覧を表-1に,試験体形状を図-2に示す.また, スラブ配筋を図-3に,シアコネクタ詳細を図-4に示す.

試験体は,縮尺1/2の押し抜き試験体8体であり, シ アコネクタ種類, せん断スパン比および シアコネク タ形状をパラメータとした.実験パラメータの詳細を以 下に示す.

シアコネクタは、ジベルとスタッドを用いた、 Ŧ ん断スパン比は2.0, 3.0とし, せん断スパンが, 押し抜 きせん断挙動に与える影響を把握するために,両者の比 較検討を行った. ジベル形式について,孔あき鋼板の 出寸法(55,105mm),孔数(1,2孔)および貫通筋の 本数(1,2本)を変えて、ジベル形状の違いによる比較 検討を行った.また,スタッド形式について,スタッド の長さを40,75mm,配置段数1,2段とし,スタッド形 状・配置の影響を検討した.試験体は,スラブの曲げ降 伏が先行しないようにスラブ配筋を決定した.また,シ アコネクタの耐力が,スラブの押し抜きせん断耐力を上 回るように設計を行った.但し,SB-3-L1試験体は,ス タッド本数(配置段数:1段)が少ないため,この限り ではない. 試験体に用いた鋼材およびコンクリートの機 械的性質を表-2および表-3に示す.

加力は,図-2に示すように,スラブの四辺中央付近を

	ミマーナクク	/ ₩C	シアコネクタ形状						
試験体	ンテコイソタ 新知	せん町 スパンド	ジベル形式	スタッド形式					
	112,72	XX 2 10	出寸法	長さ 配置段数					
PR-2-S		2.0	小(1孔)						
PR-2-L	ジベル	2.0	大(2孔)	—					
PR-3-S		2.0	小(1孔)						
PR-3-L		3.0	大(2孔)]					
SB-2-L2	スタッド	2.0		*	2段				
SB-3-L2				~	24X				
SB-3-S2		3.0		小	2段				
SB-3-L1				大	1段				
試験体名称									
0-0-00									
└──┼──┼┼─ シアコネクタ種類 PR:ジベル形式、SB:スタッド形式									
└─┼┼─ せん断スパン比									

表-1 試験体一覧

^{└──} ジベル出寸法又はスタッド長さ S:小、L:大 ── スタッド配置段数





表-2 鋼材の機械的性質

使用部位 サ		イズ※1		细種	板厚	降伏点	引張強さ	降伏比	伸び
		212		到91 <u>1</u> 1人/		(N/mm^2)	(N/mm^2)	(%)	(%)
300 H.	P	L-6A L-6B		55400	5.8	296	445	67	37
2.00	Р			33400	5.8	305	441	69	39
使用部位 ジベル 柱鋼管 使用部位 スタッド スラブ筋 貫通筋	Pl	PL-12A PL-12B S			11.6	371	443	84	26
	Pl				11.7	357	442	81	29
は田立な	Ļ	エノブ	≫1	*1 细焉 降伏点		引張強さ	降伏比	伸び	
医石即凹	L	· 7 1 ^		到 叫 们 当	E	(N/mm^2)	(N/mm^2)	(%)	(%)
フカッド	フカルド		١.	00400+5	N/ ×2	373	465	80	16
スダット		φ9E	3	55400作	13	392	425	92	16
マニゴケ		D10A	ł	SD29	95	363	501	72	17
ヘノノ肋	1	D10E	3	KSS785K		954	1085	88	9
雪汤饮		D10/	ł	5020	5	371	505	73	19
頁週肋		D10B SD2		55	359	483	74	21	

※1 Aはせん断スパン比が2.0、Bは3.0の試験体。

※2:材質についてはJIS-G3532。

※鋼材の 試験片は、PL-6がJIS Z 2201 5号試験片、PL-12が1A号試験片。

鉄筋の試験片はJIS Z 2201 2号試験片。

※降伏点は0.2%オフセット法による。

表-3 コンクリートの機械的性質

試験体	圧縮強度	ヤング係数				
	(N/mm)	(×10 N/mm)				
PR-2-S	29.0	22.6				
PR-2-L	28.5	22.6				
PR-3-S	32.0	23.2				
PR-3-L	32.5	23.2				
SB-2-L2-N	31.4	23.4				
SB-3-L2-N	31.3	23.1				
SB-3-S2-N	31.5	23.1				
SB-3-L1-N	32.5	23.1				

※供試体はJIS A 1132。

表-4 実験結果一覧

	実験値								計算値					
試験体	初期剛性	放射ひび割れ		鋼管スラブ 界面のひび割れ		最大耐力		初期剛性 ^{※1}		押し抜きせん断耐力				
		荷重	変形	荷重	変形	荷重	変形			文献1)		文献2)		
	(kN/mm)	(kN)	(mm)	(kN)	(mm)	(kN)	(mm)	(kN/mm)	<u>実験値</u> 計算値	(kN)	<u>実験値</u> 計算値	(kN)	<u>実験値</u> 計算値	
PR-2-S	642	91	0.14	91	0.14	536	4.00	560	1.14	396	1.35	498	1.08	
PR-2-L	611	60	0.08	95	0.14	652	3.71	502	1.09	394	1.65	495	1.32	
PR-3-S	361	40	0.11	85	0.31	477	7.60	225	1.11	403	1.19	438	1.09	
PR-3-L	344	50	0.15	110	0.47	492	6.60	325	1.06	406	1.21	441	1.12	
SB-2-L2	661	91	0.13	101	0.15	540	3.51	562	1.18	411	1.32	517	1.05	
SB-3-L2	359	51	0.14	101	0.38	471	8.04		1.10	398	1.18	433	1.09	
SB-3-S2	378	46	0.12	106	0.44	339	6.43	325	1.16	399	0.85	434	0.78	
SB-3-L1	347	30	0.09	70	0.26	328	4.90		1.07	406	0.81	441	0.74	
※1 柱周囲をピンとして行なった弾性FEM解析(スラブ筋は非考慮)による。														

単純支持し,下部柱端に配したジャッキを用いて一方向 の単調加力を行った.また,スラプ端部支持点に対する 柱部の相対変形を計測した.

3. 実験結果

(1) 実験経過

実験結果一覧を表-4に,スラブ上面の最大耐力時のひ び割れ状況を図-5に示す.

いずれの試験体も,45°方向の放射ひび割れに続き, 柱鋼管とスラブの界面にひび割れが生じ,その後,これ らが進展することで剛性が徐々に低下した.最終的に, せん断スパン比2.0試験体は変形D=3~4mm,せん断ス パン比3.0試験体は変形D=5~8mmでスラブの圧縮縁が 圧壊するとともに,押し抜きせん断破壊により最大耐力 に達し,荷重が低下した.

最大耐力時のひび割れ状況の比較より,スタッド形式 に対して,ジベル形式はせん断破壊面の広がりが大きい ことが分かる.また,ジベル形式について,ジベル出寸 法による違いはほとんど見られないが,スタッド形式に おいて,スタッド長さが短い場合,柱近傍でせん断破壊 面が形成される結果となった.

(2) 荷重-変形関係

パラメータごとの荷重-変形関係の比較を図-6に示す. なお,せん断スパン比 2.0 と 3.0 の試験体では,スラブ





(b)スタッド形式

図-5 最大耐力時のひび割れ状況

配筋が異なるため, グラフの縦軸を, スラブ筋の効果を 考慮した土木学会のコンクリート標準示方書²による計 算値(表4)に対する実験値の比率とした.また, せん 断スパン比による比較のグラフ横軸は, 変形を最大耐力 時変形で除した値で示している.

せん断スパン比による比較(図-6(a))より,ジベル形

式,スタッド形式ともに,せん断スパン比による違いは ほとんど見られない.但し,いずれも,最大耐力後の荷 重低下はせん断スパン比 3.0 の方が大きい.また,シア コネクタ形状による比較(図-6(b))において,ジベル形 式では,ジベル出寸法による大きな違いは見られず,計 算値を上回る十分な鉛直力支持性能を発揮した.一方, スタッド形式について,スタッド長さが小さい,または 配置段数が1段の場合,長さが大きく2段配置のものに 比較して,計算値に対する実験値の比率及び最大耐力時 の変形が小さくなった.これは,スタッド長さや配置段 数と破壊性状が密接に関係していることを示している.

(3) 初期剛性および耐力評価

初期剛性及び最大耐力実験値と計算値の比較を表-4 に示す。各試験体の初期剛性は、いずれも柱とスラブの 接合をピン接合を仮定して求めた弾性 FEM 解析結果に 近く、計算値に対する実験値の比率は 1.06~1.18 である. なお、解析ではスラブ筋を考慮していない.

最大耐力計算値は,日本建築学会の RC 規準 ¹及び文 献 2)に示される耐力式で算定した.計算値に対する実験 値の比率は,スタッド形式で長さが小さい,または1段 配置の場合,計算値を下回る結果となったが,それ以外 は前者で 1.18~1.65 と安全側の評価となり,後者で 1.05 ~1.32 と比較的良い対応を示した.これは,文献 2)によ る評価式が,スラブ筋のダウエル作用による効果を考慮 していることに起因すると考えられる.なお,計算値を 下回った試験体に関しては,破壊性状と併せて,適切な 耐力評価を今後行なう予定である.

4. まとめ

CFT 柱フラットスラブ構造において,ジベル及びスタッドによる接合法を用いた柱スラブ接合部の押し抜きせん断実験を行なった結果,ジベル形式では,ジベル出寸



法によらず十分な鉛直力支持性能を発揮したが,スタッ ド形式では,スタッド長さや配置段数によって,荷重-変形関係および破壊性状に差異があることを把握した. また,初期剛性は,柱とスラブの接合をピン接合として 求めた計算値と近い値を示すこと,最大耐力は,スラブ 筋の効果を考慮して求めた計算値と実験値が良い対応を 示すことが分かった.

参考文献

1) 日本建築学会:鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, pp. 96-98, 2000.

2) 土木学会:コンクリート標準示方書構造性能照査編, pp.73-75,2002

STRUCTURAL BEHAVIOR OF CONNECTION BETWEEN CONCRETE-FILLED SQUARE STEEL TUBE COLUMN AND REINFORCED CONCRETE FLAT SLAB

Jun KUBOTA, Toshiyuki FUKUMOTO, Yukitada OGIHARA, Seiichi MURAMATSU and Shigeru YOSHIKAI

This paper proposes new connection details for concrete-filled steel tube (CFT) column composite structural systems with reinforced concrete flat slabs, using perfobond rib shear connectors or headed stud shear connectors. Punching shear tests were carried out on the slab-column connections to investigate the punching shear behavior around the columns. The test results were as follows: 1) Specimens using the long perfobond ribs showed almost the same structural behavior as those using the short ones. 2) The proposed connections can be considered as shear connections. 3) The ultimate strength calculated by superposing the strength of the concrete with that of the reinforcement agreed approximately with the corresponding experimental value.