# (49) バーリングシアコネクタ および孔あき鋼板ジベルの引抜き耐力 に関する実験的研究

山下 慎太郎<sup>1</sup>·田中 照久<sup>2</sup>·堺 純一<sup>3</sup>

1正会員 福岡大学大学院 工学研究科建設工学専攻 (〒814-0180 福岡市城南区七隈八丁目 19-1)

#### E-mail:td164020@cis.fukuoka-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 福岡大学助教 工学部建築学科 (〒 814-0180 福岡市城南区七隈八丁目 19-1)

E-mail:sttanaka@fukuoka-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 福岡大学教授 工学部建築学科(〒 814-0180 福岡市城南区七隈八丁目 19-1)

E-mail:sakaij@fukuoka-u.ac.jp

鋼材とコンクリートの接合部は、機械的ずれ止めを適材適所に配置することで、合理的な設計が期待で きる.しかし、鋼板にバーリングプレス加工を施したバーリングシアコネクタや孔加工を施した孔あき鋼 板ジベルは、鉄筋などによるコンクリートの拘束応力がなければ、十分なずれ止め効果が発揮されない場 合がある.特に、鋼部材がコンクリートから抜け出す方向に引張力が作用する場合は、ずれ止め鋼板によ る支圧応力の圧縮場を形成させるための鉄筋が必要となる.

そこで、本研究では、バーリングシアコネクタおよび孔あき鋼板ジベルを対象に、コンクリートに埋め 込まれたずれ止め鋼板の引抜き載荷実験を行った.本論では、引抜き実験の概要とその結果を示すととも に、最大耐力評価法について検討する.

## *Key Word* : shear connector, Reinforcing bar, Pull-out test, Stress transfer, Failure behavior, Maximum strength

# 1. 序

鋼材とコンクリートの接合部は,機械的ずれ止め (シアコネクタ)を適材適所に配置することで,合 理的な設計が期待できる.しかし,鋼板に孔加工を 施した孔あき鋼板ジベルやバーリング加工を施した バーリングシアコネクタ<sup>1)</sup>(以下,ずれ止め鋼板) は,鉄筋などによるコンクリートの拘束応力がなけ れば,十分なずれ止め効果が発揮されない場合があ る.

筆者らは、ずれ止め鋼板による鋼とコンクリート の押抜きせん断実験を行い、ずれ止め鋼板と直角方 向に配置される横補強鉄筋および鋼板孔に配置され る貫通鉄筋がずれ止め鋼板とコンクリートとの応力 伝達性能に寄与することを明らかにしている<sup>2)、3)</sup>. しかし、鋼部材がコンクリートから抜け出す方向に 引張力が作用する場合は、ずれ止め鋼板による支圧 応力の圧縮場を形成させるための鉄筋が必要とな る.

そこで、本研究は、ずれ止め鋼板とコンクリート との間の引抜き挙動と破壊性状を把握するととも に、ずれ止め特性を生かした鉄筋の配筋方法を検討 することを目的とする.本論では,引抜き載荷実験 の概要および実験結果について述べ,引抜き力が作 用する場合におけるバーリングシアコネクタおよび 孔あき鋼板ジベルの最大耐力評価法について検討す る.

#### 2. 実験計画

#### (1) 実験変数

表-1に試験体一覧,図-1にずれ止め鋼板の形状 寸法を示す.実験変数は、ずれ止め用鋼板の加工(5 種:バーリング鋼板-B,b,孔あき鋼板-P,孔なし 鋼板-Bn6,Pn12),各種鉄筋の有無(3種:最上段 のせん断補強筋-O,貫通鉄筋-I,U字鉄筋-U),貫 通鉄筋およびU字鉄筋の鉄筋径(2種:D13,D16) をとり、試験体数は計15体である.なお、鉄筋に 関する実験変数は、図-2中の平面図における着色 部の鉄筋を対象とする.最上段のせん断補強筋(D13) は、鉄筋によるコンクリートの拘束効果が引抜き挙 動に及ぼす影響を検証するために配筋する.バーリ ング孔内に貫通させる鉄筋(D13,D16)は、既往 の押抜き試験により、ずれ止め周囲のコンクリート

が破壊した後においても,優れたずれ変形性能を有 することが実証されている<sup>3)</sup>ため、引抜き試験にお いてもその効果について検証する. U字鉄筋 (D13, D16)は、ずれ止め鋼板とコンクリートとの間の応 力伝達の改善を図ることを目的とし、 さらに、 ずれ 止め鋼板端部の支圧により生じると思われるコンク リートの割裂ひび割れを防止、抑制させる目的で配 筋している.

バーリング鋼板(B, b)の形状寸法は、板厚 6mm, バーリング径 50mm, 突起高さ 15mm とする. 孔あき鋼板 (P) の形状寸法は、板厚 12mm, 孔径 50mm とする. 孔なし鋼板 (Bn6, Pn12) の形状寸法 は2種とし、Bn6 は板厚 6mm, Pn12 は板厚 12mm とする. 鋼板サイズは 200mm×100mm を基本とし, bのみ100mm×100mmとする(図-1参照). 各種ず れ止めの実測寸法値を表-1の括弧内に示している.

## (2) 引抜き試験体

引抜き試験体の形状寸法を図-2に示す. コンク リートブロックの幅,高さおよび厚さはそれぞれ 400mmの正六面体である. 試験体の配筋は、ねじ 節鉄筋とせん断補強筋(最上段を除く)を共通と し、着色部の鉄筋の有無による影響を検証する.鉄 筋のかぶり厚さは 30mm とした. なお、コンクリー トと接触する母材 PL-16 の表面には付着を切るため グリースを塗布している. ずれ止め鋼板は, 母材両 面の長手方向の中心に全周隅肉溶接で取り付けてい る. 試験体の母材に作用する引張力はコンクリート 内部のねじ節鉄筋を通して反力床に伝達される. そ のため、ねじ節鉄筋の上端には機械式定着具、下端 にはナットを取り付け、反力床と接合している.

コンクリートの材料特性を表-2に示す.また, 鋼材の機械的性質を表-3に示す.

			表 -1	試験体一覧	ī.			h <sub>f</sub> =15 <b>J</b>	h <sub>f</sub> =15 <b>⊥,,,</b> (_,
No.	試験体名	鋼板厚さ t (mm)	孔径 d (mm)	突起高さ h <sub>f</sub> (mm)	最上段 せん断 補強筋	貫通 鉄筋	U字 鉄筋		
1	В				-				
2	B-O				D13	-			
3	B-I					D13	-	200	100
4	B-I16	C	50	15		D16		バーリング鋼板 B	バーリング鋼板 b
5	B-U	0	(49.5)	(15.7)	-		D13		
6	B-U16	(6.12)				-	D16	D16	Bn6 1t=6
7	B-OIU				D13	D13	D13	<u>t=12</u>	
8	b-OIU				D13	D13	D13		Pn12 $l=12$
9	Bn6-U		-	-	-	-	D13		
10	Р				-				100
11	P-O		50		D13	-	-		
12	P-I	12 (12.0)	(50.3)	-	-	D13		200	200
13	P-U					-	D13	ゴキキ細石D	71 +>1 4回+E Doc Do10
14	P-OIU				D13	D13	D13	北のご剄似「	Tu なし 剄 100, PTITZ 単位 (mm)
15	Pn12-U		-		-	-	D13	図-1 ずれ止め	鋼板の形状寸法



4 = b T A / I

表2	コンクリートの材料特	性
----	------------	---

使用材料	圧縮強度 $\sigma_B$ (N/mm <sup>2</sup> )	割裂引張強度 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 E <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	
普通コンクリート	31.2	2.30	27100	

表−3 鋼材の機械的性質							
使用材料		降伏点 $\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	引張強さ σ <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 E <sub>s</sub> (N/mm <sup>2</sup> )			
ずれ止め鋼板	板厚 6mm	293	455	206000			
(SS400)	板厚 12mm	289 <sup>*</sup>	463	213000			
母材 板厚 (SS400) 16mm		304	451	205000			
	D13 (SD295A)	339	473	201000			
異形棒鋼	D16 (SD295A)	333	474	202000			
	D25 (SD490)	552	700	203000			

# 

※降伏点: 0.2% オフセット法

#### (3) 載荷方法と測定位置

載荷方法と測定位置を図-3に示す.載荷方法は, 左右ジャッキの変位制御により、引抜き試験体の母 材を繋ぐ連結冶具から, ピンを介して一方向に引張 荷重を単調に載荷する. 測定位置は、ずれ止めの中 心位置におけるコンクリートと母材(コンクリート 上面から 50mm) との間の引抜き量(相対ずれ変位) を左右の2箇所, ずれ止めの中心位置におけるコン クリート上面の浮き上がり量を前後の2箇所を計測 する.

# 実験結果と考察

#### (1) 荷重ーずれ変位関係

実験結果から得られた各試験体の荷重 - ずれ変位 関係を図-4に示す.

## a) 各種鉄筋の影響

図-4(a) より, B 試験体に対し, 最上段のせん断 補強筋 (B-O) を有することならびに U 字鉄筋 (B-U) を有することで、バーリングシアコネクタの最大耐 力はそれぞれ 1.26 倍, 1.28 倍増加した. 一方, 貫通 鉄筋(B-I)を有することによる最大耐力の増加は 見られなかった.これらより、鉄筋配置の違いが最 大耐力に及ぼす影響は、U字鉄筋、最上段のせん断 補強筋,貫通鉄筋の順で大きいことがわかる.また, 各種鉄筋を全て配筋した B-OIU 試験体の最大耐力 は,B試験体に比べ,1.90倍増加した. 図-4(b)より, このような鉄筋の配置や鉄筋量による効果は、孔あ き鋼板ジベル(P) 試験体についても同様な傾向に ある.

#### b) <br /> 鉄筋径の影響

図-4(c) より, 貫通鉄筋径の違いによる影響はず



図-3 載荷方法と測定位置

れ変位が 5mm 程度までは、ほぼ同じずれ挙動を示 した.しかし、ずれ変位が約6.5mm 以降になると 違いが見られ、貫通鉄筋径をD13からD16に大き くすることによる, ずれ変形性能の向上が確認でき た. また, U字鉄筋径をD13からD16に大きくす ることによって、B-U16 試験体の最大耐力は、B-U 試験体に比べ、1.18倍増加し、変形性能の改善が見 られた.

#### c) ずれ止め鋼板の違いによる影響

図-4(d) より、バーリング鋼板のサイズが小さく なると、初期剛性および最大耐力が低くなることが 確認できた.これは、バーリング鋼板端部とU字鉄 筋の位置関係や鋼板とコンクリートとの付着力・摩 擦力が小さいことが一因であると考えられる.

図-4(e)より, B-U, P-Uの最大ずれ変位時の荷 重と Bn6-U, Pn12-U の同じずれ変位時の荷重を比 較すると, B-UはBn6-Uの2.07倍, P-UはPn12-U の1.55 倍の耐力を有していることがわかる. これよ り、引抜き実験においても、鋼板にバーリング加工 したバーリングシアコネクタや孔加工した孔あき鋼 板ジベルのずれ止め効果が認められる. さらに,図 -4 (f) より, B-UとBn6-U, P-UとPn12-Uを比較 すると,前者はずれ変位約12mm で,後者は約7.5mm で荷重の大小関係が逆転していることがわかる.こ れはコンクリートの損傷状況が要因であり, B-U と P-U はバーリングシアコネクタや孔あき鋼板ジベル の抵抗機構により、コンクリート上面および側面に ひび割れが発生しており, Bn6-Uと Pn12-U はコン クリート側面にはひび割れがほとんど見られず、コ ンクリート上面にひび割れが集中していた.

#### (2) 破壊性状

最大荷重時におけるコンクリートブロックのひび



割れ状況を図-5に示す.ここでは、バーリング試 験体を例として挙げる.BおよびB-Iは、バーリン グ突起部および鋼板端部の支圧力により、コンク リート上面の鉛直方向にずれ止め鋼板に沿ってひび 割れが生じたことで最大耐力が決定付けられ、急激 な耐力低下が確認された.一方で、B-O、B-Uおよ びB-OIUは、ずれ止め鋼板に沿った鉛直ひび割れに よる急激な耐力低下が抑制され、その後、バーリン グ突起方向にひび割れが生じたことで最大耐力が決 定付けられた.また、その他の試験体は、図-5に 示したコンクリートのひび割れパターンのいずれか に分類できることが分かった.

今回の実験で,バーリングシアコネクタおよび孔 あき鋼板ジベル試験体には,ずれ止め鋼板端部の支 圧力による割裂ひび割れやずれ止め鋼板の支圧力お よびU字鉄筋の引抜き力によるコンクリートのコー ン状破壊といった破壊性状が見られた.したがって, 各試験体の最大耐力は,ずれ止め性能が十分に発揮 される前に,その周囲のコンクリートブロックの破 壊によって決定付けられたと考えられる.

# 引抜き力が作用する場合における最大耐力評価法の検討

#### (1) 既往の押抜き試験との対応

既往の押抜き試験において,バーリングシアコネ クタは孔あき鋼板ジベルに対して約2倍以上の最大 耐力を有していることが実証され,また,提案した 耐力評価式の計算値は実験値を良好に評価できるこ とが確認されている<sup>1)</sup>.しかし,本論で示した引抜 き試験による2種類のずれ止め鋼板の最大耐力は, 同程度の結果を示した.したがって,本引抜き試験 では,ずれ止め鋼板の抵抗機構が十分に発揮されて いないといえる.そこで,先ずは,押抜き試験と引 抜き試験の最大耐力差を把握するため,以下に示す 既往の耐力評価式との比較を行う.

既往の押抜き試験で提案されたバーリングシアコ

ネクタの最大せん断耐力式は、文献 1)の(1)式に より、孔あき鋼板ジベル<sup>4)</sup>のせん断強度  $q_s$ (2)式 とブロックジベル<sup>5)</sup>のせん断強度  $q_c$ (3)式の単純 和で評価している.ただし、鋼板とコンクリート界 面の摩擦力は、(2)式に含まれている.なお、孔あ き鋼板ジベルの場合の  $q_c$ は0となる.

$${}_{B}Q_{u} = q_{s} + q_{c} \tag{1}$$

$$q_s = \alpha \cdot \pi d_p^2 / 4 \cdot \sigma_B \cdot 2 \tag{2}$$

ここに、 $\alpha$ :実験定数 (Leonhardt<sup>4)</sup>の場合: $\alpha$ =1.08),  $d_p$ :バーリング径 (バーリング突起部先端の孔径),  $\sigma_B$ :コンクリートシリンダーの圧縮強度

$$q_c = A_p \cdot f_b \tag{3}$$

ここに、 $A_p$ :バーリング突起部の投影面積 (=( $d_p$ +2t)・  $h_f$ )、 $d_p$ :バーリング径、 $h_f$ :突起高さ、 $f_b$ :コンクリー トの支圧強度 (= $\sigma_B \cdot \sqrt{A_c/A_p}$ )、 $\sigma_B$ :コンクリートシ リンダーの圧縮強度、 $A_c$ :コンクリートの支承面積 (= $B_c \cdot t_c$ )、 $B_c$ :コンクリートブロックの幅 (= $\beta \cdot t_c$ )、 $\beta$ : コンクリートの有効幅係数 (複合示方書<sup>5)</sup>の場合:  $\beta$ =2.0)、 $t_c$ :コンクリートブロックの厚さ

引抜き試験による最大耐力の実験値と(1)式によ る計算値の比較を表-4に示す.前述による実験結 果で最も高い耐力を示した B-OIU 試験体の最大耐力 実験値は計算値と比較して約半分の結果であった. 一方, P-OIU の最大耐力は唯一,計算値を上回る結 果を示した.しかし,(2)式による計算値は,円孔 側面の二面せん断力と鋼板とコンクリート界面の付 着力・摩擦力によるものであり,実際にはずれ止め 鋼板の上端部に支圧力が作用しているため,鋼板端 部の支圧力を考慮した評価が必要である.

以上のことから,バーリングシアコネクタおよび 孔あき鋼板ジベルに引抜き力が作用する場合の鋼と コンクリートとの間の応力伝達機構やコンクリート の破壊形態を考慮した耐力評価法の提案が必要であ る.そこで,次に,引抜き力が作用するバーリング シアコネクタおよび孔あき鋼板ジベルの最大耐力評 価法について検討する.



# (2) 最大耐力の考察

0

OIU 試験体の最大耐力は、コンクリートのひび割 れがブロック上面よりも側面に集中していたことか ら、コンクリート全断面の引張強度で決定付けられ ていると考えられるが、ここでは、各種鉄筋が全て 配置された OIU 試験体を基準に最大耐力評価につい て考察する.

図-6に、OIU試験体の最大耐力発揮時までの荷 重-ずれ変位関係を示す。OIU試験体の最大耐力 ouvPmaxは、OIU試験体の最大耐力時のずれ変位(以下, 変位)におけるBまたはP試験体の耐力Pnと実験 変数とした各種鉄筋の効果による付加耐力(最上段 のせん断補強筋の付加耐力: AO, 貫通鉄筋の付加 耐力: AI, U字鉄筋の付加耐力: AU)の単純和によっ て,以下の式で評価できると考える。

$${}_{IU}P_{max} = P_n + \varDelta O + \varDelta I + \varDelta U \tag{4}$$

$$1O = P_o - P_n \tag{5}$$

$$\Delta I = P_I - P_n \tag{6}$$

$$\Delta U = P_U - P_n \tag{7}$$

ここに、 $P_o$ : OIU 試験体の最大耐力時の変位における B-O または P-O の耐力、 $P_i$ : OIU 試験体の最大耐力時の変位における B-I または P-I の耐力、 $P_v$ : OIU 試験体の最大耐力時の変位における B-U または P-U の耐力

OIU 試験体の最大耐力実験値 P<sub>max</sub> と(4) 式によ

表-4 実験値と(1)式による計算値の比較

No.	試験体名	実験値 (kN)	計算值 (kN)	実験値/計算値	
1	В	99		0.25	
2	B-O	125		0.32	
3	B-I	103		0.26	
4	B-I16	92	201	0.24	
5	B-U	127	391	0.32	
6	B-U16	150		0.38	
7	B-OIU	188		0.48	
8	b-OIU	178		0.46	
10	Р	103		0.78	
11	P-O	114		0.86	
12	P-I	97	132	0.73	
13	P-U	109		0.83	
14	P-OIU	179		1.36	



図-6 0IU 試験体の最大耐力評価方法

る累加値 ouPmax の比較を表-5 に示す.表-5 より, B-OIU における実験値と累加値の比は 1.04, P-OIU においては 1.12 であり、(4) 式によって概ね対応 している.次に、耐力評価法に関連するコーン状破 壊の耐力算定方法ならびに、(4) 式の各項に直接関 連する貫通鉄筋およびU字鉄筋による付加耐力 (ΔI および AU) についてそれぞれ考察する.

#### a)コーン状破壊耐力

本項では、コンクリート上面に生じたひび割れ破 壊で最大耐力が決定付けられた B, B-I, B-U, P, P-Iおよび P-U 試験体のコーン状破壊耐力の算定方 法について検討する.

コンクリートのコーン状破壊耐力 Pcは, 文献 6) に基づき次式で表す. 図-7に実験終了後における コンクリートのひび割れ状況を示す.

$$P_c = \boldsymbol{\Phi} \cdot {}_c \boldsymbol{\sigma}_t \cdot {}_s \boldsymbol{A}_c \tag{8}$$

$${}_{s}A_{c} = A - A_{o} \tag{9}$$

ここに、 $P_c$ : コンクリートのコーン状破壊耐力、 $\Phi$ : 低減定数(終局時: $\phi=1$ ),  $\sigma_i$ : コンクリートの引張 強度, A: コーン状破壊面の有効水平投影面積, A: コーン状破壊面の水平投影面積(=b・h), b, h: 図 -8参照, Aa: ずれ止め鋼板およびU字鉄筋の支圧 面積 (= $A_{o}+_{U}A_{o}-(h_{f}+t)\cdot d$ ),  $A_{o}$ : ずれ止め鋼板の支 圧面積 (= $t \cdot H + (d_p + 2t) \cdot h_f$ ),  $_U A_o : U 字鉄筋の支圧$ 面積 (=*d*・*L*), *t*: ずれ止め鋼板の板厚, *H*: ずれ止 め鋼板の高さ,  $d_n$ : バーリング径,  $h_f$ : 突起高さ, t: U字鉄筋の鉄筋径,L:U字鉄筋の幅(L=120mm)

(8) 式の低減定数 Φ は 1, コンクリートの引張強 度<sub>c</sub>σ<sub>t</sub>は材料試験結果(表-2参照)より 2.3N/mm<sup>2</sup> を用いる. また, コーン状破壊面の有効水平投影面 積Acは、実験終了後におけるコンクリート上面の ひび割れ状況(図-7参照)から推定した図-8に示 す斜線部とし、(9) 式で表す. コーン状破壊面は通 常45°の傾きをもって投影面積が形成される<sup>9</sup>が、 コンクリート上面のひび割れ状況より、本実験では 45°よりも小さい角度で投影面積が形成されていた ものと考えられる.なお,(9)式中のhは,図-7より, 母材表面からコンクリートブロックの縁辺までの距 離とした(図-8参照).(9)式中のbは,図-7より, ひび割れが集中している箇所の端から端までの距離 とした (図-8参照). B-U および P-U 試験体の有効 水平投影面積A。は、図-9のように、コンクリート のひび割れ状況が他の試験体と異なるため、コーン 状破壊面の水平投影面積Aを図-9中の破線で示し た面積とし、(9) 式で評価している.

図-10に表-4に示した最大耐力実験値と(8)式 による計算値の比較を示す.図-10より、バーリン グシアコネクタ試験体の計算値は実験値に対して 1.05~1.38の範囲であり、平均は1.22、変動係数は 0.11 である. 孔あき鋼板ジベル試験体の計算値は実 験値に対して 0.79~1.20 の範囲であり, 平均は 0.98, 変動係数は0.17であり、いずれの試験体も(8)式 によって概ね評価できる.

今回の引抜き実験では、コンクリート断面が 400×400mmと小さく、また、ずれ止め鋼板のコン クリートへの埋込長さを浅く計画したことから, コーン状破壊耐力の有効水平投影面積A.が小さく なってしまい、コンクリートブロックの破壊が先行 して,最大耐力が決定付けられた.今後の課題とし

表-5 実験値と(4)式による累加値の比較

	P <sub>max</sub> (kN)	OIU試験体 P <sub>max</sub> 時の変位における荷重					
試験体		<i>P<sub>n</sub></i> (kN)	⊿0 (kN)	$\Delta I$ (kN)	$\Delta U$ (kN)	<sub>OIU</sub> P <sub>max</sub> (kN)	$\frac{I_{max}}{OIUP_{max}}$
B-OIU	188	63	35	20	63	181	1.04
P-OIU	179	68	45	8	39	160	1.12

※Pmax:最大耐力の実験値 ※oruPmax:(4) 式による累加値 ※ΔO, ΔI, ΔU: 各種鉄筋による付加耐力



(a) B

(b) B-I (c) P 図-7 実験終了後におけるコンクリートのひび割れ状況



て、コンクリートブロックをできるだけ大きくした 条件で、ずれ止め鋼板の埋込長さの違いやせん断補 強筋量がコンクリートのコーン状破壊耐力に及ぼす 影響を検証することが必要である.

#### b)貫通鉄筋による付加耐力

表-5より,貫通鉄筋の付加耐力 *AI* は, B-OIU 試 験体に比べ P-OIU 試験体の方が小さい. この要因 を貫通鉄筋に生じた軸ひずみと曲げひずみの関係か ら,貫通鉄筋の付加耐力について考察する.

I 試験体および OIU 試験体の荷重と軸ひずみおよ び曲げひずみの関係を図-11 に示す.また,横軸の ひずみは,貫通鉄筋のずれ止め鋼板中央部から両側 上下端それぞれ 25 mmの位置で計測したひずみを上 下端それぞれで平均した値を用いて,軸ひずみおよ び曲げひずみを示している.図-11 中の○は,OIU 試験体それぞれの最大耐力時の変位における鉄筋の 軸ひずみ値および曲げひずみ値を示している.

図-11より,OIU 試験体それぞれの最大耐力時の 変位における鉄筋の軸ひずみ値および曲げひずみ値 を比較すると,バーリングシアコネクタ試験体(B-I と B-OIU)は両者とも良く対応しているが,孔あ き鋼板ジベル試験体(P-I と P-OIU)の軸ひずみは 良好に対応しているものの,曲げひずみは相違が見 られる.また,B-OIUおよび P-OIU 試験体の最大 耐力時における鉄筋の軸ひずみ値および曲げひずみ 値を比較すると,軸ひずみは両者とも同程度の値を 示しているが,曲げひずみは P-OIU 試験体の方が 500µ ほど小さい値を示している.したがって,表 -5 中に示す P-OIU 試験体における付加耐力 *ΔI* は, B-OIU 試験体に比べ,貫通鉄筋が曲げに抵抗するダ ウエル(ダボ)効果が小さいため,最大耐力の増大



(a) B-U (b) P-U 図 -9 U試験体のコーン状破壊面の水平投影面積



に寄与する影響が小さかったと考えられる.

# c) U字鉄筋による付加耐力

U字鉄筋の抵抗機構を図 -12 に示す. ずれ止め鋼板に引張力が作用すると、鋼板端部の支圧力 C は直接的に U字鉄筋に伝達され、円孔側面の二面せん断力  $q_s$  およびバーリング突起部の支圧力  $q_c$  はコンクリートを介して U字鉄筋に伝達される.本項では、鉄筋に貼付したひずみゲージ $\varepsilon_I$ ,  $\varepsilon_2$  を用いて、U字鉄筋の付加耐力を考察する.

**OIU** 試験体の最大耐力時の変位における **B**-U および **P**-U の **U** 字鉄筋に貼付したひずみゲージ *ε*<sub>1</sub>, *ε*<sub>2</sub> の 値を用いて, **U** 字鉄筋の負担力を以下の式で評価する.

$$\Delta U_{\varepsilon} = \sigma_1 \cdot A + \sigma_2 \cdot A \tag{10}$$

$$\sigma_1 = E \cdot \varepsilon_1 \tag{11}$$

$$\sigma_2 = E \cdot \varepsilon_2 \tag{12}$$

ここに、 $AU_{e}$ : ひずみ  $\varepsilon_{1}$ ,  $\varepsilon_{2}$ から算定した U 字鉄筋 の負担力、 $\sigma_{1}$ ,  $\sigma_{2}$ : 鉄筋の軸方向応力、A: 鉄筋の断 面積、E: 鉄筋のヤング係数

ただし,(11),(12) 式の*ε*<sub>1</sub>および*ε*<sub>2</sub>が降伏ひず み*ε*<sub>5</sub>に達している場合は,*σ*<sub>1</sub>および*σ*<sub>2</sub>は鉄筋の降 伏点*σ*<sub>4</sub>(**表**-3参照)を用いる.



(7) 式による U 字鉄筋の付加耐力  $\Delta U \geq$  (10) 式 による U 字鉄筋の負担力  $\Delta U_e$ の比較を図-13に示す. なお, B-U16 試験体については, 4. (2) および (10) 式に基づき, B-U16 試験体の最大耐力時の変位に おける U 字鉄筋の付加耐力  $\Delta U \geq$  U 字鉄筋の負担 力  $\Delta U_e \gtrsim$  算定し,比較している.図-13 より, B-U, B-U16 および P-U における  $\Delta U \geq \Delta U_e$ の比はそれぞ れ 1.03, 0.77, 0.95 であり, B-U16 の  $\Delta U_e$ は  $\Delta U$ よ りも大きい傾向にあるが,U 字鉄筋の材軸方向に貼 付したひずみゲージの値から,U 字鉄筋の負担力を 推定可能であることが確認できた.

#### 5. 結

本研究では、バーリングシアコネクタおよび孔あ き鋼板ジベルとコンクリート間の引抜き挙動を把握 するため、引抜き試験を行い、耐力評価法について 検討した.実験結果から得られた知見を以下に記す. 1)引抜き試験により、バーリングシアコネクタおよ

- び孔あき鋼板ジベルのずれ止め効果および破壊性 状は押抜き試験とは異なる特性が見られた.
- 2) ずれ止め鋼板の上部にせん断補強筋やU字鉄筋を 配筋することで、ずれ止め鋼板とコンクリートと の間の接着作用の消失に伴って、コンクリート上 面にひび割れが生じることによる急激な耐力低下 が抑制され、鋼材とコンクリート間の応力伝達機 構の改善が期待できる。
- 3)バーリング孔内に配置した貫通鉄筋は、押抜き試験と同様<sup>3</sup>、耐力よりもずれ変形性能の向上に寄与する効果の方が大きい。
- 4) 引抜き試験で最も十分にずれ止め効果を発揮した OIU 試験体の最大耐力は、OIU 試験体の最大耐力 時のずれ変位における基準試験体(BまたはP試 験体)の耐力と実験変数にとった各種鉄筋(最上 段のせん断補強筋・貫通鉄筋・U字鉄筋)の効果 による付加耐力を累加することにより、評価可能 であることを示した。



図-13 (7) 式による△Uと(12) 式による△U<sub>ε</sub>の比較

謝辞:本研究は、日本学術振興会の科学研究費補助 金(若手研究(B)課題番号16K18193)による助成 を受けて実施した.実験準備は、岡部(株)にご協 力頂いた.試験体準備は、松井工業(株)および(株) M.S.E にご助力頂いた.また、試験体製作および実 験補助は、福岡大学教育技術職員の石橋宏一郎氏、 同大学学部生の遠原聡史氏にご助力頂いた.ここに 記して感謝の意を表す.

参考文献

- 田中照久, 堺純一, 河野昭彦: バーリング加工を活用した新しい機械的ずれ止めの開発,日本建築学会構造 系論文集第78巻第694号, PP2237-2245, 2013.12
- 2)田中照久,堺純一,河野昭彦:バーリングシアコネク タおよび孔あき鋼板ジベルのコンクリートとのずれ挙 動に及ぼす鉄筋の拘束効果に関する実験的研究,都市・ 建築学研究九州大学大学院人間環境学研究院紀要,第 26号, pp.91-100, 2014.7
- 3)田中照久,堺純一,河野昭彦:貫通鉄筋を有するバー リングシアコネクタおよび孔あき鋼板ジベルの押抜き せん断実験,第11回複合・合成構造の活用に関するシ ンポジウム講演集,第11巻,pp.34-43,2015.11
- Leonhardt, F et al : Neues, vorteilhaftes Verbundmittrl fur Stahlverbund-Tragwerke mit hoher Dauerfestigkeit, Betonund Stahlbeton, pp.325-331, Dec.1987.
- 5) 土木学会: 複合構造標準示方書, 第1版,2009.12
- 6) 日本建築学会:各種合成構造設計指針・同解説,第2版, pp.236-246,2010.11

# EXPERIMENTAL STUDY ON PULL-OUT STRENGTH OF BURRING SHEAR CONNECTOR AND PERFOBOND STRIP

# Shintaro YAMASHITA, Teruhisa TANAKA and Junichi SAKAI

It is expected that steel-concrete connections are able to gain a more rational design by placing mechanical shear connectors in the appropriate location. However, burring shear connectors and perfobond strips may not display an adequate amount of shear connector performances without restricting the stress of the concrete by reinforced bars. In particular, when a tension stress acts, a reinforcing bar is required to form a compression field of the bearing stress by the shear connector.

In this paper, we consider the summary and result of the Pull-out test and maximum the strength evaluation method for burring shear connectors and performed strips.