# (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 1·田中 照久 2·堺 純一 3

□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

2 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.

η 0111	· • > • > > > (N)	7 A IE C ;	K 1 *>	11 1/2/ 1/(	,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	٠.	\$13.15.1 × 5 108	TOTAL EX CICATO	
			表 -1	試験体一覧	<del>-</del>			h <sub>i</sub> =15	h <sub>f</sub> =15 <u>1</u>
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		<u>t=6</u>
1	В				-			(50 ¢)   O	(50¢)   <u>6</u>
2	В-О				D13	-			
3	B-I			15 (15.7)		D13	]	200	100
4	B-I16	6	50		_	D16		バーリング鋼板 B	バーリング鋼板 b
5	B-U	_	(6.12) (49.5)			_	D13		
6	B-U16	(0.12)					D16	t=12	Bn6 <u>t=6</u>
	B-OIU	1			D13	D13	D13		Pn12
8	b-OIU	1			D13	D13	D13		TIIIZ
9	Bn6-U		-	-	-	-	D13		
10	P				-	_		$\left(50\phi\right)$ $\left[9\right]$	100
11	P-O	12 (12.0)	2.0) (50.3)		D13	D10	-	200	200
12	P-I P-U			-	-	D13	D13		
14	P-OIU				D13	D13	D13		孔なし鋼板 Bn6, Pn12
15	Pn12-U				_	-	D13	D13	D13
	11112-0			<u> </u>			D13	図 −1 9 イレエエ@ン迦	がの形状り法
伢	として, B-	0IU 試験体を	を示す			30	400 340	30 19	400 92 16 192
D1:	<u>30</u> <b>通鉄筋</b> 3, D16 防止筋	400 340	30 B'		母材 Pi ずれ止め 最上段の ん断補強的	鋼板	200	U字鉄筋 D13, D16 コンクリート	50 30 240

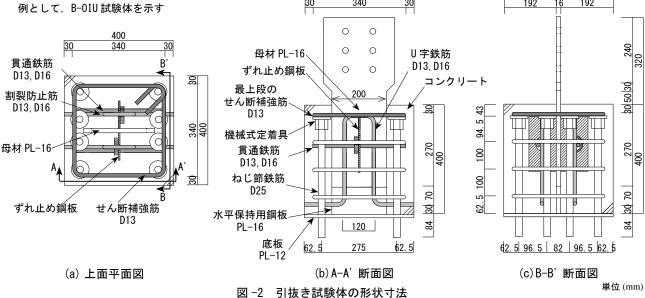


表-2 コンクリートの材料特性

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/mm²)	
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	ŀ	降伏点 σ <sub>y</sub> (N/mm²)	引張強さ σ <sub>u</sub> (N/mm²)	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**	463	213000
母材 板厚 (SS400)		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.

## 3. 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) 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

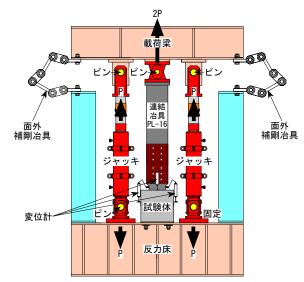


図-3 載荷方法と測定位置

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.

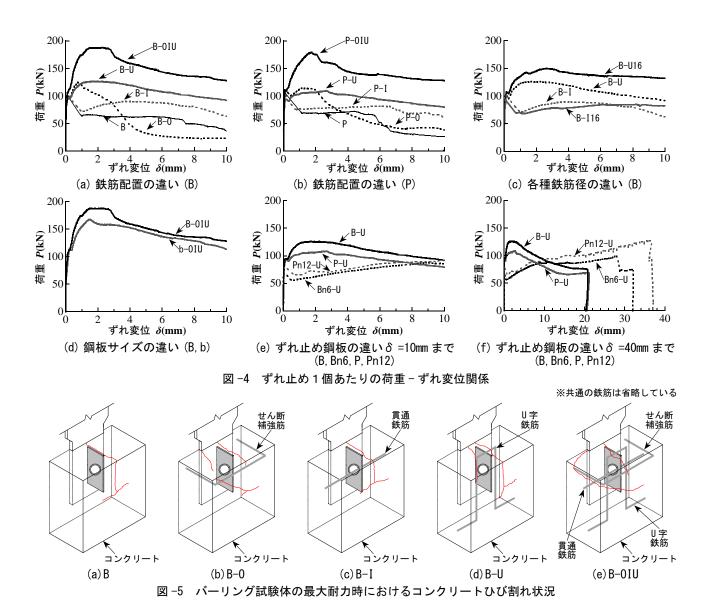
## c) ずれ止め鋼板の違いによる影響

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.

# 4. 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 4) のせん断強度  $q_s$  (2) 式とブロックジベル 5) 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(= $\sigma_B$ ・ $\sqrt{A_c/A_p}$ )、 $\sigma_B$ : 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(= $B_c$ ・ $t_c$ )、 $B_c$ : コンクリートブロックの幅(= $\beta$ ・ $t_c$ )、 $\beta$ : コンクリートの有効幅係数(複合示方書  $^5$  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

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 試験体の最大耐力の $mP_{max}$  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  $P_n$  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: $\Delta I$ 、U 字鉄筋の付加耐力: $\Delta I$ 、 の単純和によって、以下の式で評価できると考える。

$$_{OIU}P_{max} = P_n + \Delta O + \Delta I + \Delta U \tag{4}$$

$$\Delta O = P_O - P_n \tag{5}$$

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

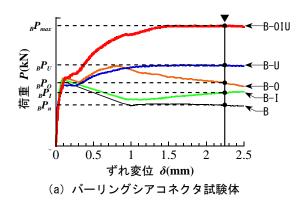
$$\Delta U = P_U - P_n \tag{7}$$

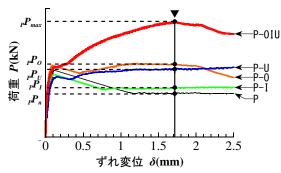
ここに、 $P_o$ : OIU 試験体の最大耐力時の変位における B-O または P-O の耐力、 $P_I$ : OIU 試験体の最大耐力時の変位における B-I または P-I の耐力、 $P_v$ : OIU 試験体の最大耐力時の変位における B-U または P-U の耐力

OIU 試験体の最大耐力実験値  $P_{max}$  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	391	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	P	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





(b) 孔あき鋼板ジベル試験体

図-6 0IU 試験体の最大耐力評価方法

る累加値  $onP_{max}$  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( $\Delta I$  および  $\Delta U$ )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 $P_c$ 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)、 $_c\sigma_t$ : コンクリートの引張強度、 $_sA_c$ : 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( $=b \cdot h$ )、b,h:図 -8 参照、 $A_o$ : ずれ止め鋼板および U 字鉄筋の支圧面積( $=_sA_o+_vA_o-(h_f+t)\cdot d$ )、 $_sA_o$ : ずれ止め鋼板の支圧面積( $=_t\cdot H+(d_p+2t)\cdot h_f$ )、 $_tA_o$ : U 字鉄筋の支圧面積( $=_d\cdot L$ )、 $_t$ : ずれ止め鋼板の板厚、 $_t$ : ずれ止め鋼板の高さ、 $_t$ :  $_t$ :

(8) 式の低減定数  $\Phi$  は 1, コンクリートの引張強度  $_{c}\sigma_{i}$  は材料試験結果 (表 -2 参照) より  $2.3 \text{N/mm}^2$  を用いる. また, コーン状破壊面の有効水平投影面積  $_{c}A_{c}$  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>6</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  $A_c$ 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.

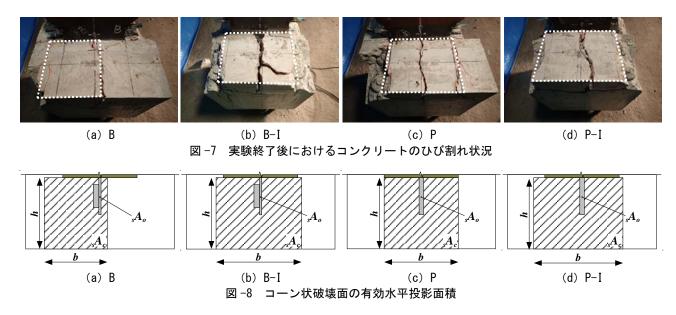
図 -10 に表 -4 に示した最大耐力実験値と (8) 式による計算値の比較を示す。図 -10 より、バーリングシアコネクタ試験体の計算値は実験値に対して  $1.05 \sim 1.38$  の範囲であり、平均は 1.22、変動係数は 0.11 である。孔あき鋼板ジベル試験体の計算値は実験値に対して  $0.79 \sim 1.20$  の範囲であり、平均は 0.98、変動係数は 0.17 であり、いずれの試験体も (8) 式によって概ね評価できる.

今回の引抜き実験では、コンクリート断面が  $400 \times 400 \text{mm}$  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 $A_c$  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	OIU試験体 P <sub>max</sub> 時の変位における荷重					
試験体	(kN)	P <sub>n</sub> (kN)	△O (kN)	ΔI (kN)	ΔU (kN)	OIUP max (kN)	$\frac{P_{max}}{OIUP_{max}}$
B-OIU	188	63	35	20	63	181	1.04
P-OIU	179	68	45	8	39	160	1.12

 $**P_{max}:$  最大耐力の実験値  $**_{OU}P_{max}:$  (4) 式による累加値  $**_{AO}, \Delta I, \Delta U:$  各種鉄筋による付加耐力



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 ΔI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  $\Delta I$  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

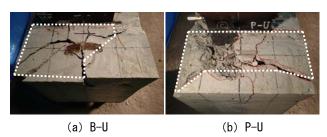


図 -9 Ⅱ試験体のコーン状破壊面の水平投影面積

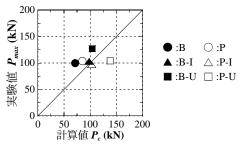


図-10 実験値と(8)式による計算値の比較

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  $q_s$  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 $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$ 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  $\vec{U}$  P-U の U 字鉄筋に貼付したひずみゲージ $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$  の 値を用いて、U字鉄筋の負担力を以下の式で評価す る.

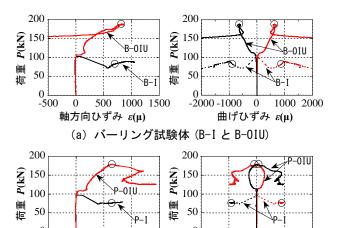
$$\Delta U_{\varepsilon} = \sigma_1 \cdot A + \sigma_2 \cdot A \tag{10}$$

$$\sigma_I = E \cdot \varepsilon_I \tag{11}$$

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

ここに、 $\Delta U_{\varepsilon}$ : ひずみ  $\varepsilon_{t}$ 、 $\varepsilon_{2}$  から算定した U 字鉄筋 の負担力,  $\sigma_i$ ,  $\sigma_i$ : 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 $\varepsilon_1$ および $\varepsilon_2$ が降伏ひず み $\varepsilon$ <sub>v</sub>に達している場合は、 $\sigma$ <sub>l</sub>および $\sigma$ <sub>2</sub>は鉄筋の降 伏点  $\sigma_v$  (表 -3 参照) を用いる.



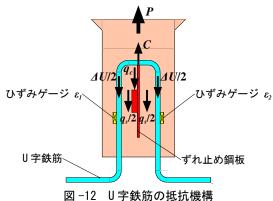
(b) 孔あき鋼板ジベル試験体 (P-Iと P-0IU) 図-11 貫通鉄筋のひずみ挙動

-2000 -1000 0

曲げひずみ  $\varepsilon(\mu)$ 

500 1000 1500

軸方向ひずみ  $\varepsilon(\mu)$ 



(7) 式による U 字鉄筋の付加耐力  $\Delta U$  と(10)式による U 字鉄筋の負担力  $\Delta U_c$  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  $\Delta U$  と U 字鉄筋の負担力  $\Delta U_c$  を算定し,比較している.図 -13 より,B-U,B-U16 および P-U における  $\Delta U$  と  $\Delta U_c$  の比はそれぞれ 1.03,0.77,0.95 であり,B-U16 の  $\Delta U_c$  は  $\Delta U$  よりも大きい傾向にあるが,U 字鉄筋の射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.

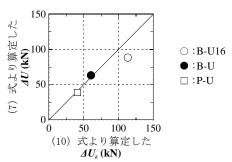


図-13 (7) 式による△ U と (12) 式による△ U 。 の比較

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

- 1) 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
- 4) 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 perfobond strips.