スリット入り鋼パイプを用いた新型ずれ止めにおける フープ鉄筋の拘束効果に関する実験的検討

Experimental study on confinement effect of hoop-reinforcing bar for new shear connector using slit steel pipe

 北海道大学大学院工学院
 〇学生員
 松尾善紀 (Yoshinori Matsuo)

 北海道大学大学院工学院
 学生員
 中山和弥 (Kazuya Nakayama)

 株式会社 IHI 技術開発本部
 正
 員
 山口隆一 (Ryuichi Yamaguchi)

 北海道大学大学院工学研究科
 正
 員
 古内
 仁 (Hitoshi Furuuchi)

 北海道大学大学院工学研究科
 フェロー
 上田多門 (Tamon Ueda)

## 1. はじめに

複合構造において、異種部材を接合するずれ止めは非 常に重要な役割を担う。このずれ止めであるが、鋼コン クリート複合構造における鋼桁とプレストレストコンク リート桁の接合部やラーメン橋脚部の上下部一体構造の 接合部などでは、一般に設計上狭隘な箇所に多くのずれ 止めが配置されることがあり、施工性やコンクリートの 確実な充填が困難になることがある。

これらの問題を解決するため、従来の孔あき鋼板ジベル(以下 PBL と表記する)にスリット入りの鋼パイプ を挿入した新しいずれ止め(以下グリップジベルと表記 する)が開発された<sup>1)</sup>(図-1)。



このグリップジベルは既往の研究<sup>2)</sup>より、従来の PBL に比べ優れた性能を有していることが確認されて

500 150 200 150 変位計 Ŧ 70 <u>8</u> Т 50 φ 60 補強鉄筋 ひずひん F <del>1</del>00 400 340 200 50 発泡スチロール (実験時は除去) 図-2 実験供試体

いるが、同時に載荷方法あるいは実験供試体におけるコ ンクリート部の寸法や鉄筋の拘束効果によって、試験結 果に大きな差が出ることも確認されている<sup>3)</sup>。

本研究では、これら複数の問題のうち、試験供試体に おけるフープ状の補強鉄筋の拘束効果を明らかにするた め、異なる径の補強鉄筋を有する供試体と補強鉄筋を持 たない供試体を用いて、静的載荷試験を実施した。

### 2. 実験概要

## 2.1 供試体寸法

図-2 に示すように、宇都宮大学で行われた PBL の押 し抜き試験<sup>4)</sup>を参考にし、1 ブロックタイプの形状にし た。供試体の高さは 400mm、底面は 500mm×400mm (PBL と水平方向が 500mm) とした。

鋼パイプ径 D は 60mm とし、鋼パイプ長さ L は、 PBL からの張出長がパイプ径の 1/2 となるようにし、 PBL の板厚を加えて 82mm とした。また、載荷時の偏 心を防ぐために PBL 上端部から 70mm までは十字型に した。

PBL 底部は、底からの支圧を受けないように高さ 30mm の空洞を設けた。また、コンクリートブロック底 面には砂を敷き、底面摩擦による影響を除去している。



供試体	載荷方法	補強 鉄筋	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	t (mm)	最大荷重 (kN)	ずれ変位 (mm)	底面
U60-82-N	静的	なし	34.2	22	342.9	2.2	砂
U60-82-D10	静的	D10	34.2	22	523.2	8.4	砂
U60-82-D13	静的	D13	34.2	22	507.6	11.2	砂
U60-82-D19	静的	D19	34.2	22	594.7	9.6	砂
U60-82-STL (2010)	静的	D16	30.3	22	564.4	14.6	モルタル

表-1 供試体一覧および実験結果

### 2.2 材料特性

コンクリートはレディミクストコンクリート(早強セ メント、呼び強度 27 N/mm<sup>2</sup>、スランプ 15cm、粗骨材の 最大寸法 20mm)を使用した。なお、打設は鋼パイプの スリット側から行い、パイプ内部までコンクリートが充 填するようにした。

PBLにはSS400(実測降伏強度 266 N/mm<sup>2</sup>)、鋼パイ プには STK400(同 384 N/mm<sup>2</sup>)を使用し、PBL は降伏 による破壊を防ぐために十分な板厚(t =22mm)とした。

### 2.3 実験パラメータ

コンクリートブロックには、PBL を取り囲むように フープ状にした補強鉄筋を配置し、この鉄筋径をパラメ ータとしている。したがって表-1 に示すように、異な る鉄筋径の供試体を3体、補強鉄筋を有さない供試体を 1体、計4体を作成した。鉄筋径はD10、D13、D19と した。なお、表中のD16の供試体は、昨年度実施した 実験結果<sup>3)</sup>である。



図-3 スリット入り鋼パイプのひずみゲージ位置

## 2.4 測定項目および載荷方法

測定項目は、載荷荷重、鋼材の十字型上端部における コンクリートブロックに対する相対ずれ変位、鋼パイプ の軸方向ひずみ、コンクリートブロック上部の端部並行 方向のひずみおよび補強鉄筋のひずみとした。載荷試験 には 1000kN ローゼンハウゼン試験機を用いて、PBL の 軸方向に鉛直下向きに漸増繰り返し載荷をした。このと き、載荷荷重が 2.5t 増加するごとに除荷し、載荷荷重 が 35t に達し除荷した後は、単調載荷に切り替える。

変位計は、コンクリートブロック上部の四隅に金属板 を設置し、その上に変位計を取り付けたマグネットスタ ンドを固定し、PBL 上端部の変位を 4 点で計測した (図-2 参照)。 鋼パイプのひずみゲージは、図-3 に示すように載荷 方向に対して上下向かい合わせで4カ所、パイプ軸方向 に取り付けた。パイプの外側と内側に配置しているのは、 パイプ表面にひずみゲージを貼り付ける十分なスペース がなかったためである。

# 3. 実験結果

## (1) 補強鉄筋径とせん断耐力の関係

静的載荷試験の結果を表-1 に示す。表中のずれ変位 は最大荷重時の変位を意味している。また、図-4 に本 実験および昨年度実施した静的載荷試験結果の荷重変位 曲線を示す。なお、漸増繰り返し載荷を行った供試体に ついては包絡線で示している。

図-5 は最大荷重と補強鉄筋径の関係を示したもので あるが、全般的に鉄筋径が大きくなるにつれて最大荷重 も大きくなる傾向にあることがわかる(図-5参照)。



# 平成23年度 土木学会北海道支部 論文報告集 第68号

	最大	鉄筋ひずみ(με)											
	荷重	上段			中段			下段					
	(kN)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
U60-82-D10	523.2	1400	1641	706	1232	996	2141	1124	1864	1415	2577	2140	2216
U60-82-D13	507.6	-	1069	1120	874	1165	-	784	1472	1258	2012	-	1643
U60-82-D19	594.7	362	-	7	330	663	949	532	498	571	1227	768	-

表-2 最大荷重時の各段における補強鉄筋ひずみ

最大荷重時の変位は、補強鉄筋がない場合は 2mm 程 度しかないが、補強鉄筋がある場合は 8~14mm 程度の 大きな変位となる。

これらの結果から、補強鉄筋径はグリップジベルのせ ん断耐力に影響を与えることがわかった。これは、補強 鉄筋径が大きくなることによりコンクリートブロックに 対する拘束効果が増大するためであると考えられる。

#### (2) 補強鉄筋の影響

補強鉄筋のひずみゲージ位置を図-6 に示す。ひずみ ゲージは各段につき4つずつ配置し、反時計回りに番号 を割り振った。また、表-2 に各位置での補強鉄筋ひず みを供試体ごとにまとめた。表中において、降伏ひずみ を超えている値は斜字で表しており、数値が記入されて いないものはデータが採れなかったことを意味する。

奇数番号のひずみゲージは鋼パイプに並行方向の補強 鉄筋、偶数番号のひずみゲージは鋼パイプに直交方向の 補強鉄筋に配置されている。各段において卓越している 2 つのひずみを網掛けで表しているが、特に下段におい て偶数番号が卓越していることがわかる。このことから、 鋼パイプに並行方向に先行してひび割れが発生し、その 後で直交方向にひび割れが発生していると考えられる。 なお、ひび割れ発生位置については既往の研究<sup>5</sup>でも言 及されており、グリップジベルにおいては鋼パイプに並 行方向のひび割れが先行する特徴があると考えられる。



図-6 補強鉄筋のひずみゲージ位置

最大荷重時における補強鉄筋のひずみを段ごとに分け て平均を取ったものを表-3 に示す。グリップジベルに 関する過去の研究<sup>5</sup>でも述べられているとおり、どの供 試体でも下段のひずみが大きく、コンクリートブロック の拘束に支配的であることがわかる。これは、鉛直下向 きに載荷しているため、グリップジベルが負担している 荷重が下方向伝搬しているためと考えられる。

鉄筋径に注目すると、径が大きくなるにつれてひずみ は小さくなるが、D16(2010)供試体については中段、下 段でその限りではない。これらの数値をグラフ化すると、 U60-82-STL (2010)のみ最大荷重時における段の違いに よる鉄筋ひずみ量の傾きが急であることがわかる(図-7 参照)。U60-82-STL (2010)は底面にモルタルを敷いて いるため底面摩擦が本年度の供試体に比べて大きく、こ の摩擦が鉄筋の代わりに拘束力を負担しているため、特 に下段でひずみが小さくなっていると考えられる。

表-3 最大荷重時の補強鉄筋ひずみ

	U60-82- D10	U60-82- D13	U60-82- D19	U60-82- STL (2010)
最大荷重(kN)	523	507	594	564
上段 (µɛ)	1245	1021	233	545
中段 (με)	1531	1245	661	661
下段 (με)	2087	1637	855	757



次に、コンクリートブロックの拘束に最も支配的であ る下段の補強鉄筋ひずみを用いて、最大荷重時に作用し ている補強鉄筋の引張力を求めた。鉄筋径と最大荷重時 引張力の関係を図-8 に示す。なお、U60-82-D10 のみ下 段の補強鉄筋ひずみの平均値が降伏ひずみを超えていた ため、降伏ひずみを用いて計算している。

鉄筋径が増加すると下段の補強鉄筋の引張力は増加す る傾向があることがわかる。すなわち、鉄筋径が増加す ることで鉄筋の受け持つ力が増加し、コンクリートブロ ックの拘束力が増すことにつながると考えられる。

また、D16 鉄筋を用いた U60-82-STL (2010)のみこの 傾向の限りではないが、これは U60-82-STL (2010)のみ 底面の拘束が違うためであると考えられる。

以上の結果をまとめると、グリップジベルのせん断力 の作用方向の前方の補強鉄筋が供試体コンクリートブロ ックの拘束力に影響を与えることで、グリップジベルの せん断耐力を左右すると言える。



## (3) 鋼パイプのひずみと荷重の関係

鋼パイプのひずみをみると、内側ひずみ(P1~P4) では動きに規則性がなく評価できないが、外側ひずみ (P5~P8)では比較的規則的な挙動をしている。図-9 は、鋼パイプのひずみ(P8)を各供試体について比較 したものである。なお、U60-82-D10 についてはどのゲ ージも規則性のない挙動を示しているため、ここでは記 載していない。

鉄筋の有無、鉄筋径にかかわらず最大荷重を迎えるま での挙動はほぼ等しく、鉄筋を有する供試体については 500 μ ε 付近より勾配が緩やかになっている。このとき 鉄筋径が大きいほど勾配が大きくなる傾向が見られた。



図-9 鋼パイプのひずみとせん断耐力の関係

鋼パイプのひずみが 500με 付近まではコンクリートブ ロックのコンクリートが荷重を負担しているが、その後 はひび割れが発生し補強鉄筋に負担が移行しているため と考えられる。このとき補強鉄筋径がコンクリートブロ ックの拘束に影響し、ジベルのせん断耐力にも影響を与 えることが考えられる。また U60-82-N が 500με 以降に 耐力が増加しないことも同様の理由であると考えられる。

# 4. 結論

本研究により得られた結論は以下のとおりである。

- (1) グリップジベルにおいて、補強鉄筋径が大きくなる とジベルのせん断耐力も増加する。これは、鉄筋径 が増加することでジベル周辺のコンクリートブロッ クがより拘束されるためであると考えられる。
- (2) グリップジベルでは、鋼パイプに並行方向のひび割 れが先行する傾向にある。これは、鋼パイプに直交 方向の補強鉄筋ひずみが卓越していることから得ら れた知見である。
- (3) 補強鉄筋ひずみは、いずれも下段のひずみが大きく 支配的であり、これは鉛直下向き載荷による荷重の 下方向伝搬によると考えられる。
- (4) 鉄筋径が増加すると作用している力も増加する傾向 があることが示された。このことは、鉄筋径がジベ ル周辺のコンクリートブロックの拘束に影響を与え ることを示している。
- (5) 補強鉄筋の鉄筋径がジベル周辺のコンクリートブロ ックの拘束に影響を与えることが示された。
- (6) 鋼パイプの挙動は補強鉄筋径によらずほぼ同じ形状 を示すが、ひび割れ発生後では補強鉄筋が荷重を負 担するため、補強鉄筋径がコンクリートブロックの 拘束力に影響し耐力に違いが出ると考えられる。こ のため、鋼パイプのひずみも鉄筋径によって違う挙 動を示していると考えられる。

#### 参考文献

- 山口隆一,中村善彦:孔あき鋼板ジベルを改良した新型ジベルの押抜き試験,第64回年次学術講演会報告集,CS,pp.71-72,2009
- 2)山口隆一,古内 仁,上田多門:鋼パイプを用いた新 型ずれ止め構造の実験的研究,コンクリート工学年次 論文集, Vol.32, No.2, pp. 1231-1236, 2010
- 3)中山和弥,山口隆一,古内 仁,上田多門:スリット 入り鋼パイプを用いた新型ずれ止めのせん断耐力に関 する研究,土木学会第 65 回年次学術講演会講演概要 集,V, pp.1433-1434, 2010
- 4)中島章典,内藤雅人,鈴木康夫:長手方向に複数配置 した孔あき鋼板ジベルのせん断力分担特性,第8回複 合・合成構造の活用に関するシンポジウム講演集, CD-ROM,2009
- 5)中山和弥,山口隆一,古内 仁,上田多門:スリット 入り鋼パイプを用いた新型ずれ止めの疲労性状に関す る実験的検討,第8回複合・合成構造の活用に関する シンポジウム講演集,CD-ROM,2011