# (68) 孔あき鋼板ジベルのずれ耐荷力評価式

藤井 堅<sup>1</sup>・道菅 裕一<sup>2</sup>・岩崎 初美<sup>3</sup>・日向 優裕<sup>4</sup> 森 賢太郎<sup>5</sup>・山口 詩織<sup>6</sup>

<sup>1</sup>正会員 広島大学大学院教授 工学研究院社会環境空間部門 (〒739-8527 東広島市鏡山1-4-1) E-mail: ken214f@hiroshima-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 株式会社IHIインフラシステム 橋梁技術部 (〒590-0977 大阪府堺市堺区大浜西町3番地) E-mail: yuuichi\_doukan@iis.ihi.co.jp

<sup>3</sup>正会員 株式会社IHIインフラ建設 橋梁事業部橋梁管理部 (〒135-0016 東京都江東区東陽7-1-1) E-mail: hatsumi iwasaki@iik.ihi.co.jp

<sup>4</sup>正会員 川田工業株式会社 鋼構造事業部技術統括部(〒114-8562 東京都北区滝野川1-3-11)
E-mail: masahiro.himukai@kawada.co.jp
<sup>5</sup>正会員 中国電力株式会社 流通事業本部(〒730-8701 広島県広島市中区小町4-33)

E-mail: 197554@pnet.energia.co.jp

<sup>6</sup>正会員 川田工業株式会社 鋼構造事業部技術統括部 (〒114-8562 東京都北区滝野川1-3-11) E-mail: shiori.yamaguchi@kawada.co.jp

筆者らは、いままでに約100体の孔あき鋼板ジベル(PBL)のずれ耐荷力実験を実施し、その破壊形式がコン クリートの破壊に起因する場合、PBLのずれ耐荷力はPBL孔周辺のコンクリートの拘束状態に大きく依存す ることを明らかにした.コンクリート拘束因子には、かぶり、孔内貫通鉄筋、孔周辺の鉄筋などがあり、 とくに押し抜きせん断試験では、供試体とテストベットの間の摩擦による拘束がずれ耐力に大きく影響す る.本研究では、PBLの終局挙動と種々のコンクリート拘束因子に注目して、コンクリートの破壊に起因 するPBLの破壊メカニズムを明らかにし、力学的に説明可能な形でずれ耐力評価式を提案する.そして、 本評価式が実験結果をよく評価できることを示す.

# *Key Words* : *perfobond rib, shear connector, slip strength, evaluation formula, concrete confinement*

#### 1. まえがき

鋼・コンクリート複合構造では,通常,異種材料間の 応力伝達のためにずれ止めが用いられるが,その一つに 孔あき鋼板ジベル(以下,PBLと呼ぶ)がある.

PBLを実構造物に使用するためには、ずれ耐荷力評価 式が必要であり、いままでにLeonhardtら<sup>11</sup>, Krausら<sup>20</sup>, 保坂ら<sup>3)</sup>,中島ら<sup>4)</sup>などによりずれ耐荷力評価式が提 案されている.これらの評価式の多くはLeonhardt<sup>11</sup> が提案したジベル孔内のコンクリートのせん断抵抗(ダ ボ作用)の考え方を基本としており、力学的には説明し やすい形である.保坂ら<sup>3)</sup>は、いままでに行われた多数の 押し抜き試験結果を回帰解析し、Leonhardの考えに基づ いてずれ耐力評価式を与えた.この式は、土木学会複合 構造標準示方書<sup>5)</sup>のPBL評価式に採用されている.しかし、 PBLをその適用範囲を超えて様々な構造物に使用するに はなお限界があり、力学的に説明できるずれ耐力評価式 の構築が望まれる.そのためには、PBLのずれ耐力要素 試験の力学的特徴を理解するとともに破壊メカニズムを 正確に把握する必要がある.

日本鋼構造協会から「頭付きスタッドの押し抜きせん 断試験方法(案)」<sup>6)</sup>が提案されて以来,我が国で実施され たPBLのずれ耐荷力試験は,ほとんどが文献6)の試験法 に準じて実施されている.しかし,PBLのずれ耐力は, コンクリートの破壊に起因して決まる場合が多く,この 場合にはコンクリートの拘束状態に大きく影響されるこ とに注意しておかなくてはならない.

PBLのずれ耐荷力がコンクリートの拘束状態に依存することは、すでに西海ら<sup>7)</sup>をはじめ多くの研究者が指摘している.藤井ら<sup>8)</sup>は、要素試験における種々のコンクリー

ト拘束因子を明らかにしている.また、中島ら<sup>4)</sup>も押し抜 き試験においてコンクリートブロックの大きさによって ずれ耐荷力が変化することを示している.しかし、従来 のずれ耐荷力評価式には、このコンクリート拘束因子は 十分には考慮されていない.

そこで本研究では、筆者らが過去に行った約100体の要 素試験結果から、PBLの破壊メカニズムについて考察し、 種々のコンクリート拘束因子を考慮できるずれ耐荷力評 価式を提案する.

#### 2. 要素試験の概要

PBLのずれ剛性およびずれ耐荷力を求めるための要素 試験には、押抜き試験あるいは引抜き試験が採用されて きた.図-1に要素試験の代表的な供試体形状を示す.図-1(a)には、本論文で使用する記号、用語の説明もあわせて 示す.

いままでに我が国で行われてきたPBLのずれ耐力試験 は、図-1(a)に示すような、頭つきスタッドジベルの押し抜



き試験法<sup>6</sup>に従ったものが多い. このPBL試験法は、CT 鋼のフランジにジベルプレートを溶接し、これにコンク リートを打設後、2つのCT鋼をHTボルトでつないで、 図-1(a)に示すような供試体を作成した後、テストベッド上 に供試体を据え付け、CT鋼を押してジベルにずれ力(せ ん断力)を作用させる.このとき、通常、テストベッドと 供試体の間の不陸を調整するために、石膏やジェットセ メントを敷いてその上に供試体を据え付ける方法が採ら れてきた. この供試体は、コンクリートの打設方向が合 成桁の場合と同じであるので、ブリーディングなどの打 設方向による影響を除去できるという利点がある. この ほかに、図-1(b)や図-1(c)のような押抜き供試体も用いられ ている<sup>9</sup>. これらの供試体は,打設方向が合成桁とは異な るが、CT鋼供試体に比べ製作は容易である。十字柱供試 体と一枚板供試体の違いは、前者はコンクリートが鋼板 によって2つのブロックに分離されており、各ブロックの ジベル孔に対し1つの背かぶりがあるのに対して、後者は コンクリートブロックは一つでありジベルの両側に2つの 背かぶりを持っていることである.

なお,一枚板供試体(図-1(c))の供試体は,荷重の向き



(b) 十字柱供試体



図-1 PBL の各種要素試験方法

を逆にすると、図-1(d)に示す引抜き試験で多用されている供試体と同じである.

#### 3. PBLの破壊メカニズム

筆者らは、図-1に示すような種々の供試体を用いて、 凡そ100体のPBLのずれ耐荷力要素試験を行い、終 局ずれ挙動とずれ耐荷力を調べた<sup>8</sup>. 以下では、その 後の結果も含めて、コンクリートの破壊に起因する破壊 メカニズムを検証する. PBLのコンクリートの破壊に起 因する破壊メカニズムは、すでに文献<sup>8)</sup>に示したが、ず れ耐荷力評価式を提案するに当たり、再度、PBLが破壊 に至るまでのプロセスの仮定を以下にまとめる.

#### (1) 破壊プロセスの仮定

- PBLに、せん断力が作用すると、孔内コンクリートには、コンクリートのだぼ作用にともなうせん断応力の他に、図-2に示すような周辺のコンクリートを割裂させようとする押し広げ力Tが発生する.
- 2)押し広げ力は、ずれ力の増加とともに増加し、これがある値に達したとき、ジベル板天端からコンクリートのかぶり部にひび割れが発生し、ひび割れは、かぶりを2分するようにコンクリート表面に向かって進展する(図-3参照.図中、PS-100-TA-16は供試体の名称を示す.この他の図にも供試体名称を示すが、詳細は文献11)を参照されたい.).

このとき,かぶり厚さcが十分に大きい場合には, コンクリートは2分されず,ひび割れは,ある程度進 展したところで止まり,それ以上の進展は無い.すな わち,ひび割れ幅がある値以上に広がると,ジベルプ レートとコンクリート間の噛み合いがなくなるので, ずれ抵抗力は増加しない.これは,PBLの破壊は,コ ンクリートの応力問題では無く,ひび割れ幅の変位問 題であり,骨材の大きさや孔径などに依存することを 示す.

- 一方、コンクリートを2分しようとする押し広げ力に対して、コンクリートのひび割れ発生に抵抗する力(コンクリート拘束力)が発生し、ずれ耐荷力はこの拘束力によって上昇する.
- 4) PBLの破壊は、押し広げ力が種々の拘束因子によるコンクリート拘束力を上回ったときに起こる.

押し広げ力に抵抗する拘束因子は、供試体あるいは実 構造物でのPBLの状態によって変化する.図-1およ び図-2は、いままでに多用されているCT鋼を用い た押し抜き試験供試体を示すが、この場合には、上 かぶりcuおよび背かぶりc、コンクリートブロックの寸法 (特に高さB)、ジベル孔内あるいはかぶり内に配置され たジベル板と直行する鉄筋(孔内貫通鉄筋,補強筋,フ レーム筋)が押し広げ力に抵抗する.また,とくに押し 抜き試験では、コンクリートブロックとテストベッドの 間に敷かれた石膏等による界面の摩擦力がある.もし、 これらの拘束がなければ、ずれ耐力は、ジベル孔面のコ ンクリートのせん断強度だけで決まる.

上記のコンクリート拘束因子は、押し広げ力に対応し て受動的に発生する拘束であるが、例えば西海<sup>70</sup>らのよう に、コンクリートの両側からジベルプレートを挟みつけ るような力を外力として与える場合には、この外力も拘 束力として作用する.

なお、例えばフランジに沿って長いリブに孔を開けて PBLとした合成桁の場合には、床版およびそのハンチか らなるコンクリートのかぶり、床版内に配置されている 主鉄筋、孔内貫通鉄筋、横桁等の横構による抵抗力(こ れは恐らく無視されるほど小さいと考えられる)やプレ ストレス力、が考えられる.したがって、上記の上かぶ りや底面摩擦などの拘束効果は期待できないため、この 場合のずれ耐荷力は、押し抜き試験で得られたずれ耐荷 力よりも小さくなることが懸念される.



図-2 押し広げカ Tと拘束因子



図-3 CT 鋼押し抜き試験における破壊後の コンクリートのひび割れ (PS-100-TA-16)

#### 3. ずれ耐荷力評価式構築のための準備と仮定

#### (1) 押し広げ力とずれ力の関係

CT鋼押し抜き試験から得られた背かぶり内部の主鉄筋 とフレーム筋およびコンクリート表面のひずみ分布を図-4に示す.図から、背かぶりコンクリートには、コンクリ ートを2分するような曲げひずみと引張ひずみが発生して おり、とくにコンクリート表面では圧縮ひずみとなって いることがわかる.これは明らかに押し広げ力Tによる. このかぶり内のひずみ分布を、図-5に示すように、曲げ ひずみと軸ひずみで表されると仮定し、種々のずれ荷重 におけるひずみ分布から押し広げ力を求めると、図-6の ようになる.

図-6の押し広げ力の計算においては、コンクリートは全断面有効とし、補強筋はコンクリート換算断 面積としてコンクリート断面に付加している. なお、 供試体名の最後の10および19は、供試体の補強筋の 直径(単位:mm)を示す.また、ずれ力が220kN (最高荷重)付近になると、押し広げ力が急増す るように見えるが、これは弾性を仮定して求めたた めに見かけ上現れているものであり、ジベル板がず れを生じて移動し始めると押し広げ力はある値以上 にはならないと考えられる.

ばらつきは大きいものの,図-6の回帰解析から, ずれ荷重*V*と押し広げ力*T*の関係は次式を得た.

$$V = V_{\rm int} + 2.5T \tag{1}$$

ここに、*V*<sub>int</sub>は、後述する孔部コンクリートのせん 断破壊荷重に対応する.

#### (2) コンクリートのかぶりによる拘束効果

ジベル孔位置で押し広げ力Tが作用すると、図-5に示す す場合、ジベル直上のかぶりの断面には引張力Tと曲げモ ーメントM(=Ty)が発生する.

この曲げモーメントについては、ジベルプレートを除 いたコンクリート部を、図-7に示すようなラーメン構造 としてとらえると理解しやすいであろう. 図中、赤で示 す線がコンクリートをモデル化したラーメン構造を示し、 押し広げ力によってラーメンに発生する曲げモーメント 図もあわせて示している. 図-7(a)は、図-1(c)あるいは (d)に示す1枚板ジベルあるいは引抜き供試体のように、ジ ベルプレートの両側にかぶりがある場合を示しており、 コンクリートはジベルを取り囲むロ形構造である. 一方、 図-7(b)は、CT鋼(図-1(a))あるいは十字柱供試体(図 -1(b))のように、コンクリートが2分されている場合は、 図-5と同様のコ形(門型)ラーメン構造となる.

いま,図-7(a),(b)がそれぞれ同じコンクリート寸法として,1孔当たりのずれ荷重Pを作用させる(図(b)では全荷重=2Pとなる)と,それぞれの孔には同じ押し広げ力T が発生するので,図-7(a)のロ型ラーメンにおけるかぶり







図-5 かぶりの内部ひずみ分布の仮定

部の曲げモーメントは、図(b)のコ型ラーメンのそれの約 12になる.もし、図-5に示すように、かぶりコンクリー トとジベル板天端位置でのコンクリートのひずみ(応力) が引張ひずみ(引張強度)に一致したときにコンクリー トが破壊すると仮定すると、ロ型ラーメンのかぶりに発 生する曲げモーメントはコ型ラーメンの約1/2であり、ま た、ロ型ラーメンでは上下2つのかぶりで抵抗するから、 ロ型ラーメンの抵抗力はコ型ラーメンの約4倍となる.し たがって、かぶり厚さcを大きくしたときのずれ耐荷力の 増加率はロ型ラーメンの方が大きくなるはずである. 図-8に、かぶり厚を変化させたときの引抜き試験(1枚板 試験)と押し抜き試験(CT鋼)のずれ耐荷力を示すが、



図-6 ずれカと押し広げカの関係

68 - 4

かぶり厚の増加に対するずれ耐荷力の増加率は引抜き試 験の方が大きいことがわかる.

また,貫通鉄筋のない場合でコンクリート高さBを 300mm,孔径を60mmに固定して,かぶり厚cを変化さ せたときのずれ耐荷力を図-9に示す.図および図-8から, 背かぶり厚の増加に連れて,ずれ耐荷力はほぼ線形的に 増加するが,かぶりが300mm(孔径の5倍)以上にな るとずれ耐荷力はあまり増加しなくなるようにみえ る.これは,先にも述べたが,孔部のコンクリートひび 割れ幅がある大きさになると,ひび割れがコンクリート 表面まで進展しなくても押し広げ力に抵抗できなくなる ことを示す.

#### (3) 要素試験におけるコンクリートの大きさの影響

コンクリート高さBを変化させて十字柱押し抜き試験か ら得られたずれ耐荷力を図-10に示す. なお, 孔径は 60mmである. 図には, かぶり厚が無い場合と100mmの 場合を示す. また, ジベル板の孔数が2個の場合もあわせ て示しす. この図から, 以下のことがわかる.

- 1) かぶりが無い場合, コンクリート高さを変化させ てもずれ耐荷力は変化しない.
- 2) かぶり(100mm)がある場合, コンクリート高さ が大きくなるにつれて, ずれ耐荷力は上昇する.
- 3) 孔数2の場合、孔数で除して1孔当たりのずれ耐荷 力に直して、コンクリート高さが1/2の場合の1孔の ずれ耐荷力と比べるとと、1孔当たりのずれ耐荷力 は、若干小さめであるが、孔数1のそれとほぼ等しい。
- 4) コンクリート高さが400mm(孔径の6倍程度) 以上になるとずれ耐荷力は増加しなくなる.この ことは、複数の孔がある場合、孔間隔が孔径の6倍 以上であれば相互の孔が干渉しなくなることを示す。

#### (4) 貫通鉄筋による拘束効果

押し抜き試験におけるずれ荷重と孔内貫通鉄筋の ジベル板位置での軸ひずみの関係を図-11(a)に示し, 図-11(b)に貫通鉄筋の軸ひずみ分布を示す.これら の図から,ジベル位置の貫通鉄筋のひずみは,コン クリートにひび割れが発生した後,ひび割れ幅の増 加に呼応して,ひび割れ発生位置で急増するのがわ かる.また,図-12に,引き抜き試験でのずれ荷重-貫通鉄筋の軸ひずみ曲線を示すが,これらの図から, 最高荷重に到達する時点の貫通鉄筋の軸ひずみは概 ね300x10<sup>-6</sup>~500x10<sup>-6</sup>程度であることがわかる.

最高荷重後は、貫通鉄筋は孔内を移動し、ジベル 板位置で V 字形に折れ曲がり、変形にともなう軸力 が発生して、これがずれ耐力の低下を防ぐようにな ると考えられる.貫通鉄筋は、最高荷重後のずれ耐



# (a) 1 枚板ジベルの (b)十字柱あるいはCT ラーメンモデル 鋼ジベルのモデル

図-7 かぶりコンクリートのモデル化



図-8 背かぶりとずれ耐力の関係



図-9 背かぶりとずれ耐力の関係(十字柱試験)



図-10 コンクリート高さとずれ耐力の関係

力の低下を防ぐためにとくに効果的であるが, ずれ 耐荷力評価式を構築する際の貫通鉄筋の拘束効果と しては, 軸ひずみ=400x10<sup>-6</sup> 程度と考えるのが妥当 と考えられる.

#### (4) コンクリートの引張破壊基準

ジベル孔のコンクリートが周辺のコンクリートを 押し広げると、ジベル板の天端にひび割れが発生す る.このときのジベル板天端において PBL プレー トに直行する方向の軸ひずみがコンクリートの限界 引張ひずみに達したときに、かぶりのコンクリート にひび割れが発生すると仮定する.ずれ耐力を評価 する場合、弾性範囲の問題として考えると、限界引 張ひずみは次式で与えられる.

 $\epsilon_t = f_{ct}/E_c$  (2) ここに、 $\epsilon_t$ : コンクリートの限界引張強度、 $f_{ct}$ : 割 裂試験(JIS A1113)によって得られるコンクリートの 引張強度、 $E_c$ : コンクリートの弾性係数である.

#### 4. ずれ耐荷力評価式の提案

以下では、上記の考察および文献 8)の結果をふま えて、コンクリート破壊に起因する孔あき鋼板ジベ ルのずれ耐力評価式を提案する.

ずれ力 V と押し広げ力 T の関係式(1)から, ジベル孔一つのずれ耐力  $V_u$ は, 次式で与える.

$$V_{\mu} = V_{\rm int} + 2.5T_{\rm p} \tag{3}$$

ここに、*V*<sub>int</sub> は、コンクリート拘束力が無い状態、 すなわちかぶりや底面摩擦が無い状態のずれ耐荷力 で、次式で与えられる.

$$V_{\rm int} = 2 \left\{ \frac{\pi d^2}{4} + (n-1)A_s \right\} \tau_{ct}$$
(4)

ここに、dはジベル孔の直径、 $A_s$ は貫通鉄筋の断面 積、nは鉄筋とコンクリートの弾性係数比 (=  $E_s/E_c$ ) であり、 $\tau_{ct}$ はコンクリートのせん断強度で、本論 文では、

$$\tau_{ct} = 0.5 \sqrt{f_{ck} f_{ct}}$$

(f<sub>ck</sub>: コンクリートの圧縮強度, f<sub>ci</sub>: コンクリートの 引張強度)とした.ただし、ジベル孔径に比べて貫 通鉄筋の直径が 1/2 以上のような太い鉄筋の場合に は、ジベル自体の破壊機構が異なると予想されるの で、適用外とする.式(4)の右辺の最初の係数 2 は、 ジベル孔で 2 面せん断破壊が小実物としているため であるが、孔径に比べてジベルの鋼板が薄い場合に は 1 面せん断破壊となることが指摘されている<sup>9</sup>が、 この場合には係数は 1 とすべきである.ただし、い ままでの実験結果からは、例えば図-10 に示すよう に、コンクリート拘束がある場合が多いので、コン クリート拘束によるずれ耐荷力上昇分に比べると



 $V_{\rm int}$ の大きさはかなり小さくなる.

また,式(3)の  $T_R$  は押し広げ力に対する抵抗力で, 種々のコンクリート拘束因子による抵抗力の総和と して表す. 図-1(a) に示す CT 鋼を用いた押し抜き試 験では,孔部コンクリートの拘束因子は,貫通鉄筋, コンクリートの大きさ,補強筋,フレーム筋,かぶ り(背かぶり c と上かぶり  $c_u$ )厚さ,そして,押し抜 き試験では底面の摩擦であり,これらの抵抗力の和 として,

$$T_{R} = T_{s} + T_{cb} + T_{cu} + T_{f}$$
(5)

と与えることができる.ここに,

T<sub>x</sub>:ジベル孔貫通鉄筋による拘束力

- $T_{cb}$ ,  $T_{cu}$ : コンクリートのかぶりおよびコンクリ ート寸法に依存する拘束力(ここで はコンクリートを上かぶり部 $T_{cu}$ と背 かぶり部 $T_{cb}$ に分けて考えている)
- T<sub>f</sub>:供試体の底面摩擦による拘束力

である.

上に示す種々の因子による拘束力は、実際の構造 物における拘束状態に対応して定める必要がある. 例えば、 $\mathbf{2}$ -1(a)~(d)のように、上かぶりが無い場合 は、 $T_{cu}$ =0である.また、実際の合成桁では、上かぶ りは無いし底面摩擦も発生しないので、 $T_{cu}$ = $T_{f}$ =0と なる.このように、本評価式は、実構造物の拘束状 態を考慮すれば、その構造物のずれ耐荷力を評価す ることができる.

式(5) における拘束力は,それぞれ次のように与 えることができる.

#### (1) ジベル孔貫通鉄筋による拘束力 T<sub>、</sub>

 $T_{s} = E_{s}A_{s}\varepsilon_{s}$  z = kz,

*E*<sub>s</sub>:貫通鉄筋の弾性係数

A<sub>s</sub>:貫通鉄筋の断面積

ε<sub>s</sub>:貫通鉄筋のひび割れ拘束ひずみ(=400x10<sup>-6</sup>)

(2) かぶりおよびコンクリート寸法(フレーム筋
等を含む)による拘束力 T<sub>cb</sub>

背かぶりおよびコンクリート寸法による拘束力:

$$T_{cb} = \frac{f_{ct}}{\frac{e_b y_b}{I_{cb}} + \frac{1}{A_{cb}}}$$
(7)

ここに,

- $f_{ct}$ : コンクリートの引張強度
- $e_b$ :背かぶりの中立軸からジベル天端までの距離
- y<sub>b</sub>:ジベル孔中心から背かぶりの中立軸までの 距離
- $I_{cb}$ :背かぶりのコンクリート換算断面 2 次モー メント.ただし,  $c \le 5d$  (d はジベルの孔 径).フレーム筋,補強筋がない場合には,  $I_{cb} = Bc^3/12$
- A<sub>cb</sub>:背かぶりコンクリートのコンクリート換算 断面積.ただし、c≤5d.フレーム筋、補強 筋がない場合にはA<sub>cb</sub> = Bc
- B: ジベル孔一つ当たりの有効幅(コンクリートの高さ)で、図-13 に示すような複数孔ジ $ベルの場合は孔間隔.ただし、<math>B \leq 6d$ .

なお, 図-1(c), (d) (図-7) (a))のような場合は, ジベル板の両側にかぶりがあるから,  $T_{cb}$ は式 (7) の2倍となる.



上かぶりによる拘束力*T<sub>cu</sub>*(図-1(a)参照):

$$T_{cu} = \frac{f_{ct}}{\frac{e_{u}y_{u}}{I_{cu}} + \frac{1}{A_{cu}}}$$
(8)

ここに,

 $e_u$ :上かぶりの中立軸からジベル上縁までの距離  $y_u$ :孔中心から上かぶりの中立軸までの距離

- $I_{cu}$ :ジベル補強筋,フレーム筋を考慮した上か ぶりのコンクリート換算断面 2 次モーメン ト.鉄筋がない場合, $I_{cu} = hc_u^3/12$
- $A_{cu}: ジベル補強筋, フレーム筋を考慮した上か$ ぶりコンクリートのコンクリート換算断面 $積.鉄筋がない場合, <math>A_{cu} = hc_u$

#### (3) 底面摩擦による拘束力 T<sub>f</sub>

ここに,

(6)

µ:底面の摩擦係数(別途行った試験から,テフ ロンにより摩擦力を低減した場合:0.15,摩 擦力を除去しない場合:0.5,を得ている.)

 $T_f = \mu N$ 

N:垂直抗力(CT 鋼および十字柱試験では,  
$$N = V_{\mu}/2$$
となる)

式(9)はずれ耐荷力 V<sub>u</sub>の関数であるから,底面摩擦 がある場合には,式(9)と式(3)および式(5)から,ジ ベル1 孔当たりのずれ耐力は,次式に書き直される.

$$V_u = \frac{V_{\text{int}} + 2.5(T_s + T_{cb} + T_{cu})}{1 - 1.25\mu} \tag{10}$$

#### 4. ずれ耐荷力評価式の精度

いままでに実施された筆者らおよび筆者ら以外の ずれ試験結果(全179体)と,ずれ耐力評価式(4)あ るいは式(10)による PBL のずれ耐荷力評価結果を比 較する.比較対象は,1 枚のジベル板に1つあるい は複数の孔が配置されている PBL の要素試験結果 である.

評価結果と実験結果を、図-14 に比較して示す. 図中,押:押し抜き試験,引:引き抜き試験,複:複数 孔,を示す.図から,相関係数 0.937 であり,本稿 で提案するずれ耐荷力評価式により,実験から得ら れたのずれ耐荷力を精度よく評価できることがわか る.

68 - 7

#### 6. **あ**とがき

以上, ずれ耐荷力を支配するコンクリート 拘束因子を示し, 力学理論に基づいて, コン クリートの破壊に起因する PBL のずれ耐力評 価式を提案した.

本提案式の最も大きな特徴は, ずれ強度に 影響するコンクリート拘束因子を力学的に表 現し, コンクリート引張強度を用いてずれ耐 荷力を求めていることである.また, それぞ れの拘束因子の効果を累加型で与えているの で, 実構造物で発生する拘束効果だけを考慮 すれば, そのずれ耐力を評価できる.

#### 参考文献

- Leonhaldt, F., Andrä, W., Andrä, H. P. und Harre, W. : Neues vorteilhaftes Verbundmittel für Stahlverbund-Trangwerke mit hoher Dauerfestigkeit, *Beton-und Stahlbetonbau*, pp.325-331, 1987.
- Kraus, D. and Wurzer, O. : Bearing Capacity of Concrete Dowels , *Composite Construction-Conventional and innovative*, pp133-138, 1997.
- 3)保坂鐵矢,光木香,平城弘一,牛島祥貴: 孔あき鋼板 ジベルのせん断強度評価式と設計法に関する研究,構 造工学論文集, Vol.48A, pp.1265-1272, 2002.
- 4) 中島章典,橋本昌利,小関聡一郎,鈴木康夫:拘束度の高い押し抜き試験に基づく孔あき鋼板ジベルの強度 評価,第9回複合構造の活用に関するシンポジウム講演 集,pp.49-57,2011.
- 5) 土木学会複合構造委員会:複合構造標準示方書2009年制 定,土木学会,平成22年4月
- 6) 松井繁之編:頭付きスタッドの押し抜きせん断試験方法(案)とスタッドに関する研究の現状,(社)日本鋼構造協会,1996.
- 7) 西海健二,沖本真之:拘束力を考慮した有孔鋼板のず れ止め特性に関する研究,土木学会論文集,No.633/I-49, pp.192-203, 1999.
- 8)藤井堅, 岩崎初美, 深田和宏, 豊田正, 藤村伸智: 孔あき 鋼板ジベルの終局ずれ挙動とコンクリート拘束因子, 土木 学会論文集A, Vol.64,No.2, pp. 502-512, 2008.6.
- 9)古川祐輔,藤井堅,道菅裕一,山口詩織:孔あき鋼板 ジベルの押し抜き試験における各種パラ-メータのずれ



#### 図-14 評価結果と実験値の比較

耐荷力への影響,第9回複合構造の活用に関するシンポ ジウム講演集, pp.58-65, 2011.

- 10) 深田和宏,藤井堅,豊田正,岩崎初美,藤村伸智:コンクリート拘束効果を考慮した孔あき鋼板ジベルのずれ耐力評価,第6回複合構造の活用に関するシンポジウム,2005.
- 保坂鐵矢,光木香,平城弘一,牛島祥貴,橘吉宏,渡 辺滉:孔あき鋼板ジベルのせん断特性に関する実験的 研究,構造工学論文集,Vol.46A, pp.1593-1604, 2000.
- 12) 新谷英司, 蝦名貴之, 上平謙二, 柳下文夫: 波形鋼板 とコンクリート床版の結合方法に関する実験的研究. プレストレストコンクリート協会第9回シンポジウム論 文集, Vol.9, pp.91-96, 1999.
- 13)新谷英司,蛯名貴之,上平謙二,柳下文夫:波形鋼板 とコンクリート床版の接合方法に関する実験的研究. プレストレストコンクリート技術協会第9回鋼シンポジ ウム論文集, pp.91-96, 1999.
- 14) 上平謙二,蛯名貴之,高橋恵悟,柳下文夫:パーフォ ボンドリブのせん断耐力に関する研究.第8回プレスト レストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文 集,pp.31-36,1998.
- 15)上中宏二郎・赤城尚宏・鬼頭宏明・園田恵一郎:パーフォボンドストリップのせん断特性に関する実験的研究,構造工学論文集, Vol.46A, pp.1605-1616, 2000.
- 16) 大間知良晃,永田淳,高田和彦,清田練次:パワース ラブ(鋼・コンクリート合成床版)の性能確認実験,横河 ブリッジ技報, No.26, pp.24-34, 1997

### ULTIMATE SHEAR STRENGTH OF PERFOBOND STRIP

## Katashi FUJII, Yuichi DOKAN, Hatsumi IWASAKI, Masahiro HIMUKAI, Kentaro MORI and Shiori YAMAGUCHI

The slip strength of perfobond strip is effected by several confinements restraining concrete fracture around a hole. This paper presents the several confinement factors in slip tests and a method evaluating the ultimate slip strength caused by concrete fracture. It is concluded that the confinement factors are the concrete covering of the connector, the reinforcing bars set through or near the hole, and the friction force between specimen and test bed in the case of push-out tests. The slip strength of perfobond strip can be evaluated with good accuracy by the method proposed herein which takes each confinment effect into account.

68 - 8