

論文 貫通鉄筋を有するバーリングシアコネクタの力学的性状に関する 実験的研究

田中 照久^{*1}・堺 純一^{*2}・河野 昭彦^{*3}

要旨: 著者らは、鋼材とコンクリートを繋ぐバーリングシアコネクタと称する新しい機械的ずれ止めの開発を行っている。本研究では、鉄筋の配筋作業の効率化を図る目的に、横補強鉄筋をバーリングプレス加工された鋼板の孔内面に接触させ配置することを想定し、貫通鉄筋 (D10) を有するずれ止めの力学的性状を把握するため、バーリング個数・間隔を変数とした単調および繰返し載荷の押抜き試験を行った。実験結果より、バーリングシアコネクタに用いた貫通鉄筋は、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ことがわかった。また、その効果は、バーリング数が単数よりも複数の方が有効であることがわかった。
キーワード: 鋼コンクリート構造接合部、ずれ止め、バーリング、孔あき鋼板ジベル、鉄筋、押抜き試験

1. はじめに

近年、鋼コンクリート合成構造・混合構造は、接合部の多種多様化や材料の高強度化に伴い、機械的ずれ止めの設計の見直しならびに頭付きスタッドや孔あき鋼板ジベル (以下、PBL) に比べ、高い剛性と耐力を有するずれ止めの開発が望まれている。このような背景から、著者らは、プレス塑性加工技術を活用したバーリングシアコネクタ¹⁾ (以下、バーリングコネクタ) と称する新しいずれ止めの開発に着手し、これまでに、バーリングの突起高さ¹⁾、個数・間隔²⁾、鉄筋量³⁾ を変数とした単調および繰返し載荷の押抜き試験を実施し、設計法を構築するための検討を行ってきた。また、バーリングコネクタを用いた合成梁の曲げ試験を行い、従来のずれ止めと同等以上の曲げ性能を発揮できることを確認してきた⁴⁾。

本研究は、鉄筋の配筋作業の効率化を図ることを目的に、PBLと同様な考えに基づき、図-1のようにバーリングコネクタの孔内に鉄筋を貫通した際のずれ止め特性を検証するために押抜き試験を実施した。貫通鉄筋を有するバーリングコネクタの施工上の利点としては、バーリング加工間隔と鉄筋の間隔を一致させることで、鉄筋を配置する際の目印が不要となる。また、貫通鉄筋は、バーリング孔内面に接触して配置させることで、コンクリートのかぶり厚を確保できればスペーサーの数を削減でき、孔中央部に配置するよりもコンクリートの充填性も改善できると思われる。そこで、本論では、貫通鉄筋を有するバーリングコネクタとPBLのずれ挙動を比較考

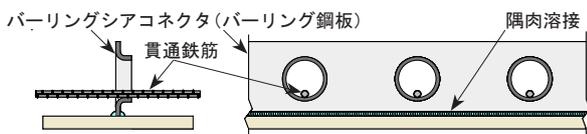


図-1 バーリング孔内に鉄筋を配置した様子

*1 福岡大学 工学部建築学科助手 (正会員)

*2 福岡大学 工学建築学科教授・博士 (工学) (正会員)

*3 九州大学大学院 人間環境学研究院教授・工博 (正会員)

察するとともに、バーリング個数、間隔および繰返し載荷に及ぼす影響について述べる。

2. 実験計画

本研究では、鉄骨梁と鉄筋コンクリート (RC) 床スラブから構成される合成梁を対象とする。

2.1 押抜き試験体

押抜き試験体の形状寸法を図-2に示す。H形鋼は、H-250x250x9x14 (SS400) を使用する。また、コンクリートと接触するH形鋼フランジ面には、付着力を除去するためにグリースを塗布している。コンクリートブロックの幅と高さはそれぞれ600mmとし、厚さは150mmである。また、コンクリートは、呼び強度21N/mm²、粗骨材の最大寸法20mmを使用する。バーリングコネクタとPBLのずれ止め鋼板は、H形鋼フランジ面のウェブ芯上にT形に全周隅肉溶接で取り付け、鋼板下端部には発泡材を配置し、支圧抵抗の影響を受けない条件としている。鉄筋は、RC構造計算規準・同解説⁵⁾にある床スラブの配筋を考慮し、異形棒鋼D10 (SD295A) を縦横@150mmで配置している。ずれ止め鋼板および鉄筋の機械的性質を表-1に示す。また、コンクリートの材料特性を表-2に示す。

2.2 実験変数とその選定条件

貫通鉄筋の影響を調べることを目的とした試験体一覧を表-3、バーリングコネクタおよびPBLの形状寸法を図-3に示す。バーリングコネクタの実験変数は、貫通鉄筋の有無、鋼板1枚あたりのバーリング加工数、バーリング加工間隔および載荷手順である。なお、貫通鉄筋を有する場合は、試験体名の頭文字に下付きで「b」を表記している。B1-Mはバーリング1個の試験体、B2-

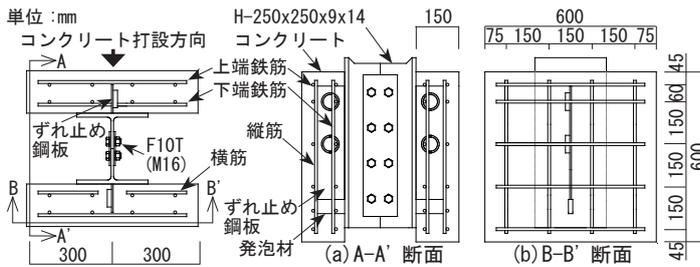


図-2 押抜き試験体の形状寸法

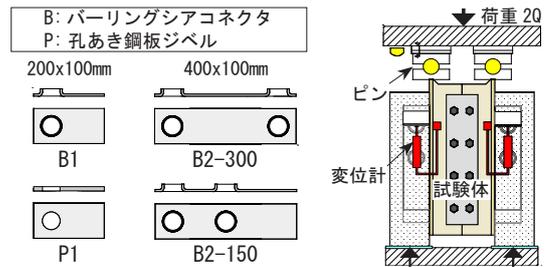


図-3 ずれ止め鋼板の形状

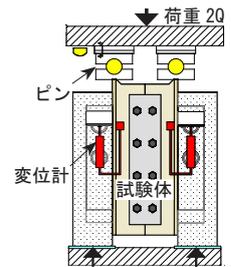


図-4 荷重方法

表-1 鋼材の機械的性質

使用材料	降伏点 σ_y (N/mm ²)	引張強さ σ_u (N/mm ²)	ヤング係数 E_s (N/mm ²)
パーリング鋼板 PL-6 (SS400)	322	498	2.22×10^5
孔あき鋼板 PL-12 (SS400)	295	484	2.03×10^5
異形棒鋼 D10 (SD295A)	390	556	2.06×10^5

表-2 コンクリートの材料特性

使用材料	圧縮強度 σ_B (N/mm ²)	割裂引張強度 σ_t (N/mm ²)	ヤング係数 E_c (N/mm ²)
普通コンクリート	30.6	3.66	2.70×10^4

表-3 試験体一覧

No.	試験体名	板厚 t (mm)	孔径 d _p (mm)	突起高さ h _f (mm)	貫通鉄筋	個数	間隔 (mm)	荷手 手順					
1	B1-M1	6 (5.80)	50 (49.5)	15 (15.5)	無	1	300	単調					
2	B1-M2				有								
3	B _b 1-M1				無	2			150	繰返し			
4	B _b 1-M2				有								
5	B2-300-M				無								
6	B _b 2-300-M				有								
7	B2-150-M				12 (11.7)	50 (50.1)			-	無	1	-	単調
8	B _b 2-150-M									有			
9	B2-150-C				12 (11.7)	50 (50.1)			-	無	1	-	単調
10	B _b 2-150-C									有			
11	P1-M	12	50	-	無	1	-	単調					
12	P _b 1-M	12	50	-	有	1	-	単調					

※括弧内の数値は、実測値を示す。

300-MおよびB2-150-Mはパーリング2個をそれぞれ300mm, 150mmの間隔で加工された試験体であり、いずれも単調荷重を受ける場合とし、パーリング数および間隔の影響を調べる。また、B2-150-Cは、繰返し荷重の影響を調べる。PBLのP1-Mは、鋼板1枚あたりに孔1個を設けた試験体であり、貫通鉄筋の影響を再確認するとともに、パーリングコネクタのB1-Mと比較する。以下に、試験体の選定条件について述べる。

(1) パーリングシアコネクタと孔あき鋼板ジベル

本研究で対象とするパーリングコネクタとPBLの形状寸法は、文献1)の研究結果より1種に限定する。パーリングコネクタの鋼板(SS400)は、板厚6mm、パーリング径50mm、パーリング突起高さ15mmとし、PBLの鋼板(SS400)は、板厚12mm、孔径50mmとする。パーリングコネクタとPBLの鋼板高さ(短手方向)は、コンクリートブロックの厚さと上端鉄筋のかぶり厚を考慮し、いずれも100mmとする。土木分野の複合構造標準示方書⁶⁾(以下、複合示方書)では、PBLの鋼板上面からコンクリート上面までのかぶりは鋼板高さの3倍以上かつ100mm以上を推奨しているが、本実験条件のかぶりは50mm(推奨値の1/6)である。一方、鋼板の長手方向は、鋼板とコンクリート界面の付着力と摩擦力の影響²⁾を考慮するため、鋼板1枚あたりに対しパーリング孔の総面積の占める割合が同じになるように、パーリング1個の場合を200mm、パーリング2個の場合を400mmとしている(図-3)。また、鋼板の表面は、黒皮のままであり、特別な処理は行っていない。なお、本実験条件の破壊形式は、パーリングコネクタはコンクリートの支圧破壊と二面せん断破壊となり、PBLはコンクリートの二面せん断破壊となるもの¹⁾を選んでいく。

(2) 貫通鉄筋

貫通鉄筋によるダウエル(ダボ)効果を期待するならば、鉄筋径は大きいに越したことはないが、実用性を考えると非合理であり、あまり現実的でない。また、複合示方書⁶⁾においてPBLに用いる貫通鉄筋径は13mmを標準としているが、本研究は配筋作業の効率化を図るという観点から、コンクリートブロックの配筋条件に合わせ、異形棒鋼D10の一種に限定し、パーリング孔と同じ位置にある横方向の下端鉄筋をパーリング孔内に通している。また、貫通鉄筋の高さ方向の位置は、パーリング孔内の下側面に接触する条件である(図-1)。

(3) パーリング数とパーリング加工間隔

文献2)の押抜き試験では、鋼板1枚あたりのパーリング数が1個から2個になることで、パーリングコネクタ1個あたりの最大せん断耐力は1割程度低下し、3個の場合においても同様の結果が報告されている。よって、パーリング数は1個と2個を選び、個数の影響を調べることとした。また、パーリング2個の加工間隔は、300mmと150mmとする。これは、パーリング間隔250mmと200mmを境に最大せん断耐力到達後の耐力劣化勾配に違いが確認されている範囲²⁾から選んだ。なお、パーリング相互間のコンクリートの破壊形式は、間隔300mmは支圧破壊、間隔150mmは隣接する突起頂部を結ぶ面でのせん断破壊を呈することが確認されている。

(4) 荷手手順

繰返しせん断力を受けるパーリングコネクタは、パーリング周囲のコンクリートが軟化する影響を受け、作用せん断力に対して直交方向に配置された上端の横補強鉄

筋が少なければ、最大せん断耐力は、単調荷を受ける場合に比べ1割程度低下することがわかっている³⁾。本研究に用いる横補強鉄筋は、バーリング1個の場合には繰返しせん断力を受けても十分な耐力を発揮できる本数を配置している。そこで、繰返しせん断力の影響を調べる試験体は、バーリング数2個を対象とし、バーリング間隔は最大耐力発揮後の耐力低下が大きい150mmを選び、繰返しせん断力荷の影響を調べることにした。

2.3 載荷方法と計測位置

実験装置は5000kN圧縮試験機を使用する。試験体の設置は、コンクリートブロック下部の周囲に無収縮グラウトを流し全底面を反力板に密着させ、水平を保持できるようにした。厳密に言えば、ブロック底面と反力板との間には摩擦が生じることが多いことが予想され、また、合成梁の曲げ試験でバーリングコネクタとPBLに作用したせん断力は押抜き試験結果と良好に対応していることが確認されたため⁴⁾、文献7)に準じた。なお、H形鋼とコンクリートブロックの分離を防ぐための開き止め治具は設けていない。

載荷方法は、図-4のように、押抜き試験体のH形鋼フランジ頭部にピンを介して一方向に単調または繰返し荷重を載荷し、H形鋼とコンクリートブロック間の相対ずれが25mmに達した時点で終了とする。繰返し載荷の手順は、ずれ変位制御とし、相対ずれが1.0mmまでは0.1・0.2・0.4・0.6・0.8・1.0mmとし、それ以後5.0mmまでは0.5mm増すごとに載荷と除荷の漸増繰返しを行い、5.0mm以降は25mmまで単調に載荷する。

H形鋼とコンクリートブロック間の相対ずれ変位は、いずれの試験体もH形鋼フランジ頭部から下に150mmに位置するバーリング孔中央と同じ高さに設置した変位計を用い計測する(図-4)。実験結果より、左右ブロックから得られたずれ変位の計測値の差は、いずれも1割に満たない僅かな差であったため、本論のずれ変位は平均値で評価することとした。また、鉄筋のひずみ性状を把握するため、上端の横補強鉄筋は材軸方向の中央部外面に、貫通鉄筋はずれ止め鋼板中央部から両側それぞれ25mmの位置の縦リブ上下対面にひずみゲージを貼付している。

3. 実験結果とその考察

各試験体から得られたずれ止めの力学的特性を表-4に示す。また、荷重 Q -ずれ変位 δ 関係を図-5に示す。なお、ここで取り扱う荷重は、コンクリートブロック1つあたりに作用したせん断力を意味する。

3.1 貫通鉄筋の有無を比較した荷重-ずれ変位関係

(1) バーリングコネクタと孔あき鋼板ジベルの比較

単調荷を受けるバーリングコネクタおよびPBLの貫

表-4 ずれ止めの力学的特性

No.	試験体名	最大せん断耐力*1 Q_{max} (kN)	最大ずれ変位*2 δ_{max} (mm)	ずれ定数*3 K_s (kN/mm)
1	B1-M1	320	6.91	755
2	B1-M2	314	3.53	798
3	B _b 1-M1	341	5.20	1110
4	B _b 1-M2	324	7.63	738
5	B2-300-M	547	3.86	1940
6	B _b 2-300-M	583	10.2	1760
7	B2-150-M	577	3.14	1480
8	B _b 2-150-M	593	4.16	1690
9	B2-150-C	547	2.51	1840
10	B _b 2-150-C	577	2.51	1780
11	P1-M	155	1.56	873
12	P _b 1-M	191	19.6	973

*1 Q_{max} : コンクリートブロック1つあたりの最大荷重

*2 δ_{max} : Q_{max} に対応するずれ変位

*3 K_s : ずれ変位0.1mm時の初期割線の傾き

通鉄筋の有無を比較した荷重-ずれ変位関係を図-5(a),(b)にそれぞれ示す。図-5(a)より、バーリングコネクタのB1-MとB_b1-Mのずれ挙動は、バーリング孔に鉄筋を通して、実験終了時までほとんど有意差は見られない。表-4より、貫通鉄筋のあるB_b1に対する貫通鉄筋のないB1のずれ定数 K_s は約0.92~1.47倍の範囲にある。また、貫通鉄筋を有することで、最大耐力は約1.03~1.09倍の範囲にあることから、貫通鉄筋がバーリングコネクタ(単数)の初期剛性と耐力に及ぼす影響は少ないといえる。また、貫通鉄筋の有無に関係なく、最大耐力時のずれ変位は同程度であり、かつ、ずれ変位10mm時の荷重は最大耐力の90%以上を保持していることから、バーリング周囲の横補強鉄筋とH形鋼フランジによってコンクリートの拘束効果が十分に発揮されたと考えられる。

一方、図-5(b)より、PBLは、貫通鉄筋を有することで、耐力およびずれ変形性能の向上が図れていることがわかる。貫通鉄筋のないP1-Mは、ずれ変位1.11mmで最大耐力に到達し、その後、緩やかに耐力が低下するのに対し、貫通鉄筋のあるP_b1-Mは、ずれ変位1.11mmまでP1-Mとほぼ変わらないずれ挙動を示すが、その後も耐力は増加し、ずれ変位19.6mm時に最大耐力を発揮した。また、PBLは貫通鉄筋を有することで、最大耐力は1.23倍の増加が確認できる。よって、本実験条件においても、貫通鉄筋を有するPBLは、孔部分のコンクリートのせん断破壊面における骨材の噛み合い作用に起因する押し広げ力⁸⁾に貫通鉄筋が抵抗することでずれ変形能力の向上が図れ、さらに、貫通鉄筋のダウエル(ダボ)効果による抵抗力が発揮されたものと考えられる。また、貫通鉄筋をPBLの孔中央部ではなく孔内面に接触させて配置しても(図-1)、ずれ止め特性上問題ないことを確認できた。

(2) バーリング数とバーリング加工間隔の影響

単調荷を受けるバーリング数2個の場合、貫通鉄筋を有することで、バーリングコネクタの最大耐力は、バーリング間隔300mmは約1.06倍、間隔150mmは約1.03

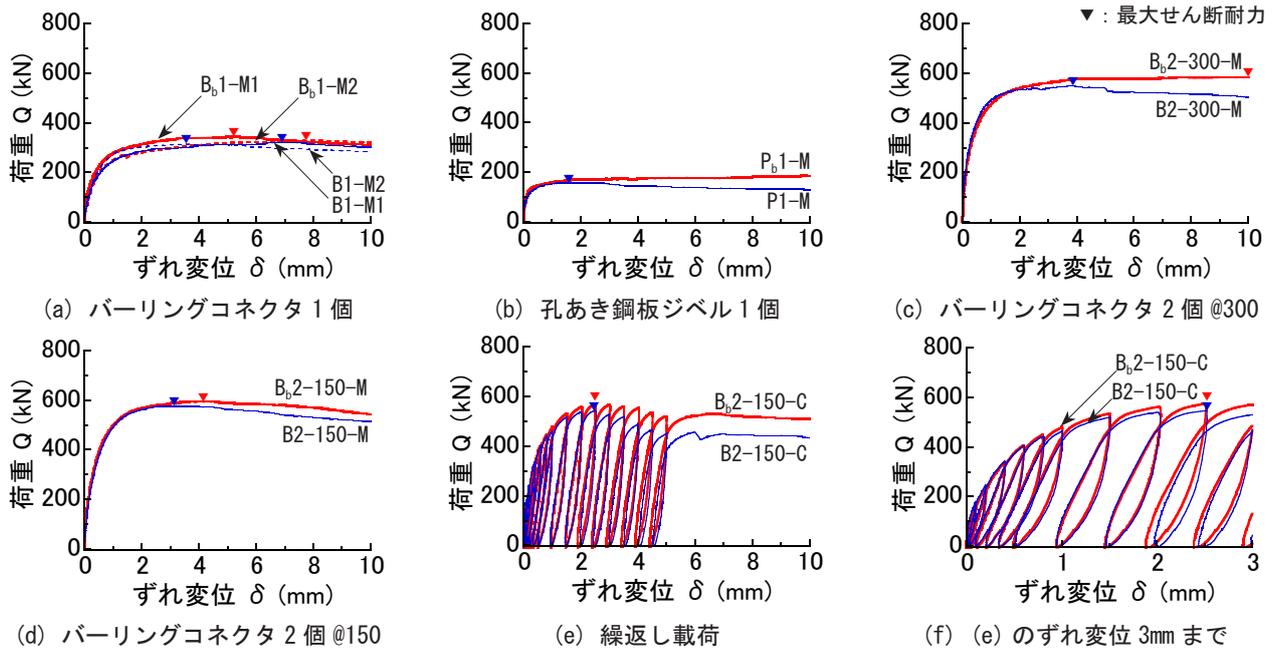


図-5 貫通鉄筋の有無を比較した荷重-ずれ変位関係

倍の増加が見られ、パーリング1個の場合と同程度である。最大耐力時のずれ変位は、パーリング間隔300mmは2.64倍、間隔150mmは1.32倍の増加が確認できる。また、図-5(c), (d)より、最大耐力発揮後は貫通鉄筋がある方が耐力劣化勾配が小さくなり、ずれ変位10mm時の荷重は、パーリング間隔300mmの場合は貫通鉄筋の有無に関係なく、間隔150mmの場合は貫通鉄筋を有することで、最大耐力の90%以上を保持できており、これはパーリング1個の場合と同様の特性が認められる。

以上のことから、貫通鉄筋D10がパーリングコネクタ1個あたりの最大耐力に寄与する割合は、パーリング数に関係なく、1割未満であることがわかった。むしろ複数のパーリングを用いる場合の貫通鉄筋は、耐力よりもずれ変形性能の改善に寄与する効果の方が高いといえる。

(3) 繰返し載荷の影響

繰返し載荷を受けるパーリングコネクタの貫通鉄筋の有無を比較した荷重-ずれ変位関係を図-5(e), (f)に示す。貫通鉄筋のあるB_b2-150-Cと貫通鉄筋のないB2-150-Cのずれ挙動は、ずれ変位0.6mm程度までは有意差が見られないが、その後は、貫通鉄筋がある場合の方が貫通鉄筋のない場合に比べて、同じずれ変位時の耐力は高い。また、貫通鉄筋を有することで、最大耐力は1.05倍の増加が見られ、これは、単調載荷を受ける場合と同程度であることから、繰返しせん断力を受ける場合においても貫通鉄筋が耐力に寄与する効果は同程度であったことがわかる。一方、貫通鉄筋のない繰返し載荷を受けたB2-150-Cの最大耐力は、単調載荷を受けたB2-150-Mに比べ5.2%程度の耐力低下が見られる。これは、繰返しせん断力が作用することでパーリング周囲の内部ひび割れによりコンクリートの軟化が進展したことが耐力低

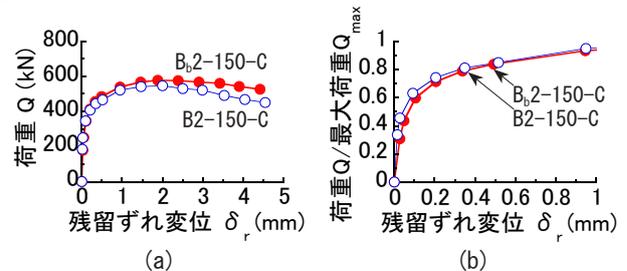


図-6 繰返し載荷の除荷点荷重-残留ずれ変位関係

下の一因と考えられるが、パーリング孔内に貫通鉄筋を配置したB_b2-150-Cの最大耐力はB2-150-Mと同程度となる。しかし、B_b2-150-Cの最大耐力発揮時のずれ変位は、B2-150-Cと同程度であり、単調載荷を受ける場合に比べ早期に最大耐力に到達していることから、貫通鉄筋が最大耐力に寄与した増加分は、骨材の噛み合い作用によるものでなく、ダウエル(ダボ)効果によるものと考えられる。最大耐力到達後においては、いずれの試験体もずれ変位の増加に伴い耐力が緩やかに低下していく挙動が見られるが、貫通鉄筋がある場合の方が、高い耐力を保持している。

次に、各サイクルの徐荷点荷重と徐荷後の残留ずれ変位の関係を図-6(a)に示す。B_b2-150-CとB2-150-Cのせん断耐力は、残留ずれ変位3.0mmまでの差は1割以下であり、3.0mm以降の残留ずれ変位で顕著な差が見られる。

ところで、複合示方書⁶⁾では、PBLの残留ずれが急激に大きくなる点として、残留ずれ変位0.1mm程度を基準値とし、この場合の徐荷前のせん断耐力を最大せん断耐力の33%としており、これを使用性の照査に用いるものとしている。そこで、図-6(a)の縦軸を各試験体の最大荷重で除したものを図-6(b)に示す。本実験で得られたパーリングコネクタの残留ずれ変位0.1mm時の荷重は、貫通

鉄筋の有無に関係なく、最大耐力に対して約 61% (平均) であり、パーリングコネクタの最大耐力に対する残留ずれ変位 0.1mm 程度の耐力の割合は PBL の約 2 倍程度であることから、パーリングコネクタの優位性が認められる。

3.2 鉄筋のひずみ性状

文献 3) では、コンクリート内部の上端の横補強鉄筋は、パーリング突起部の支圧作用に伴うコンクリートのひび割れ幅の進展を抑制し、パーリングコネクタの耐力およびずれ変形性能の改善に与える効果が大いことを示している。そこで、本論では、単調荷重を受けた試験体を比較対象とし、貫通鉄筋および上端の横補強鉄筋がパーリングコネクタの応力伝達に及ぼした影響について検討する。

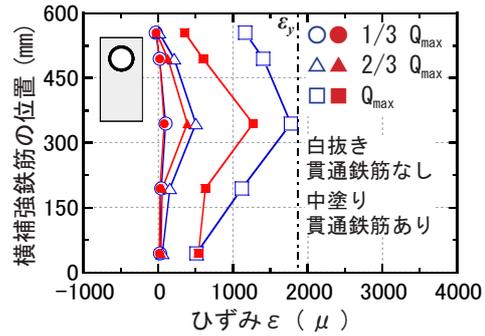
(1) 横補強鉄筋のひずみ分布

図-7 に、 $1/3Q_{max}$ (○印)、 $2/3Q_{max}$ (△印)、 Q_{max} (□印) 時の上端の横補強鉄筋中央部のひずみ分布を示す。図中の白抜きのプロットが貫通鉄筋なし、中塗りのプロットが貫通鉄筋ありをそれぞれ表しており、また、引張試験で得られた鉄筋の上降伏点のひずみ ϵ_y を一点鎖線で示している。 $2/3Q_{max}$ 時までは、いずれの比較も貫通鉄筋の有無に関係なく、同位置にある横補強鉄筋には同程度の引張ひずみが生じている。 Q_{max} 時のひずみは、貫通鉄筋の有無によらず上から 3 番目の鉄筋が相対的に最も大きい。また、図-7(c)、(d) より、パーリング数が 1 個から 2 個に増えることで、パーリングに近い位置の横補強鉄筋は、貫通鉄筋を有していても降伏ひずみに達している。

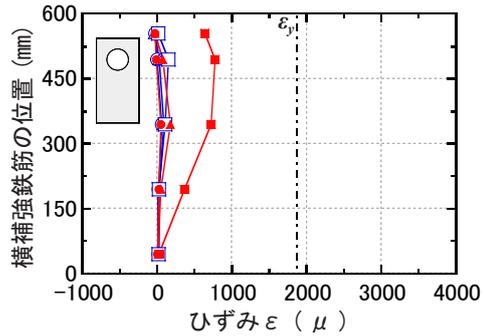
一方、図-7(b) より、貫通鉄筋のない PBL の横補強鉄筋には、 Q_{max} 時までほとんどひずみが生じていないのに対し、孔内に鉄筋を貫通させると、横補強鉄筋のひずみが増加する傾向が見られる。これは、貫通鉄筋のダウエル作用による抵抗からコンクリートを介して横補強鉄筋に伝達されているものと考えられる。

(2) 貫通鉄筋のひずみ挙動

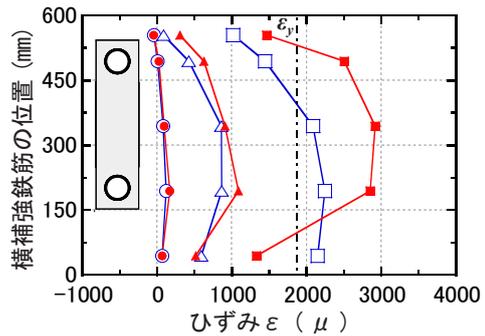
次に、貫通鉄筋のずれ止め鋼板中央部から両側それぞれ 25mm の位置での荷重と軸ひずみおよび曲げひずみの関係の一例をそれぞれ図-8(a)、(b) に示す。縦軸の荷重は、最大荷重で除して無次元化している。本論では、パーリングコネクタ B_b1-M (パーリングコネクタ 1 個) を示している。また、図中のひずみ曲線は、突起がある側を実線、突起がない側を破線で表している。図より、貫通鉄筋には、軸ひずみと曲げひずみが生じていることが認められる。いずれのひずみも、最大荷重の 8 割あたりから急激に増加している。また、曲げひずみは、正負のひずみが反転する現象が見られることから、ダウエル作用により、貫通鉄筋には局所的な曲げ変形が生じていると推測できる。最大耐力発揮時の軸ひずみは、300 ~ 600 μ 程度であり、これは鉄筋 D10 の降伏引張軸力の約 21 ~ 42% に相当する。一方で、貫通鉄筋を有する PBL



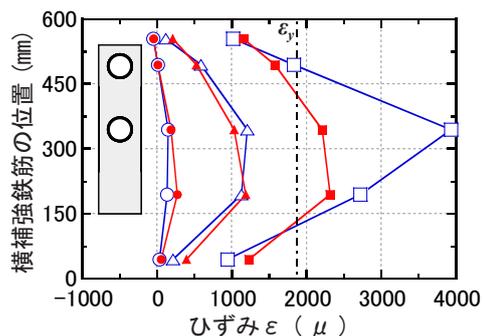
(a) パーリングコネクタ 1 個



(b) 孔あき鋼板ジベル 1 個



(c) パーリングコネクタ 2 個 間隔 300mm



(d) パーリングコネクタ 2 個 間隔 150mm

図-7 貫通鉄筋有無を比較した横補強鉄筋のひずみ分布

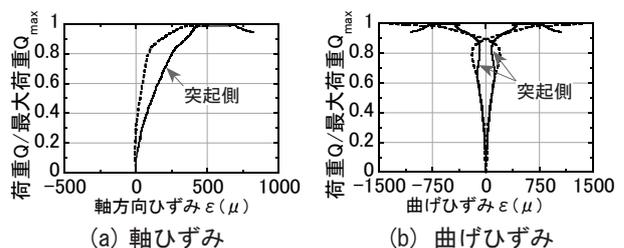


図-8 パーリング 1 個の貫通鉄筋のひずみ挙動 (一例)

の最大耐力発揮時の軸ひずみは概ね 300 ~ 500 μ 程度であることが報告されており⁸⁾、バーリングコネクタに用いた貫通鉄筋による拘束効果も PBL と同程度であることが示唆される。

鈴木らは、鉄筋に作用する引張力が鉄筋のダウエル作用に及ぼす影響を実験的に検討しており、鉄筋に小さな引張力が生じてダウエル耐力の低下が生じるとの報告がある⁹⁾。したがって、本実験結果においても、貫通鉄筋の軸方向には引張ひずみが生じていたことから、この特性が、バーリングコネクタの耐力増加にあまり寄与しなかった一因であると考えられる。

4. 最大せん断耐力の評価

バーリングコネクタの最大せん断耐力は、貫通鉄筋 D10 のダウエル作用および骨材の噛み合い作用による抵抗力は無視し、文献 1) で提案された式 (1) により、PBL¹⁰⁾ のせん断強度 q_s 、式 (2) とブロックジベル⁶⁾ のせん断強度 q_c 、式 (3) の単純和で評価し、耐力式の妥当性を検証する。ただし、鋼板とコンクリート界面の摩擦力は、式 (2) に含まれている。

$${}_B Q_u = q_s + q_c \quad (1)$$

$$q_s = \alpha \cdot \pi d_p^2 / 4 \cdot \sigma_B \cdot 2 \quad (2)$$

ここに、 α : 実験定数 (Leonhardt¹²⁾ 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)、 σ_B : コンクリートシリンダーの圧縮強度

$$q_c = A_p \cdot f_b \quad (3)$$

ここに、 A_p : バーリング突起部の投影面積 ($=d_p^2 \cdot 2t$)、 h_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 ($=\sigma_B \cdot \sqrt{A_p/A_c}$)、 σ_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 ($=\beta \cdot t_c$)、 β : コンクリートの有効幅係数 (複合示方書⁶⁾ の場合: $\beta=2.0$)、 t_c : コンクリートブロックの厚さ

式 (1) による最大耐力の計算値と実験値の比較を表 -5 に示す。なお、式 (2) の実験定数は 1.08¹⁰⁾、式 (3) のコンクリートの有効幅係数は 2.0⁶⁾ を用いている。バーリングコネクタの計算値は実験値に対して、1 個の場合には 0.96 ~ 1.04 の範囲にあり、貫通鉄筋の有無に関係なく、良好に評価できる。一方、2 個の場合には 0.84 ~ 0.91 の範囲にあり、特に貫通鉄筋のない場合の方がやや過大評価となるが、これは、横補強鉄筋の一部が降伏に至り、コンクリートの拘束効果が減少したことが要因である。

5. まとめ

押抜きせん断試験より、バーリングシアコネクタに用いた貫通鉄筋 (D10) は、耐力よりもずれ変形性能の向上に寄与する効果の方が高いことを明らかとした。

表 -5 最大せん断耐力の実験値と計算値の比較

試験体名	実験値 (kN)	計算値 (kN)	実験値/計算値
B1-M1	320	327	0.98
B1-M2	314		0.96
B ₀ 1-M1	341		1.04
B ₀ 1-M2	324	654	0.99
B2-300-M	547		0.84
B ₀ 2-300-M	583		0.89
B2-150-M	577		0.88
B ₀ 2-150-M	593		0.91
B2-150-C	547		0.84
B ₀ 2-150-C	577		0.88

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 25820274) による助成を受けて実施した。また、実験補助は、福岡大学工学部建築学科の日高遼氏 (現鹿島建設) および中村匡宏氏 (現大林組) にご助力頂いた。

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, Vol.78 No.694, pp.2237-2246, 2013.12
- 2) 田中照久, 堺純一, 河野昭彦: 鋼材とコンクリートを繋ぐバーリングシアコネクタの応力伝達機構 - バーリングの応力伝達機構の分類と適正配置間隔 -, 九州大学大学院人間環境学研究院紀要, 24 号, pp.107-115, 2013.7
- 3) 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, 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
- 4) 田中照久, 堺純一, 河野昭彦: バーリングシアコアコネクタおよび孔あき鋼板ジベルを用いた合成梁の弾塑性曲げ性状に関する実験的研究, 日本鋼構造協会鋼構造論文集, Vol.21 No.81, pp.111-123, 2014.12
- 5) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 第 8 版, 2010.2
- 6) 土木学会: 複合構造標準示方書, 第 1 版, 2009.12
- 7) 日本鋼構造協会: 頭付きスタッドの押抜き試験方法 (案) とスタッドに関する研究の現状, JSSC テクニカルレポート, No.35, 1996.11
- 8) 土木学会: 複合構造レポート 10, 複合構造ずれ止めの抵抗機構の解明への挑戦, 2014.8
- 9) 鈴木基行, 中村泰介, 堀内信, 尾坂芳夫: 軸方向鉄筋のダウエル作用に及ぼす引張力の影響に関する実験的研究, 土木学会論文集, No.426, pp.159-166, 1991.2
- 10) Leonhardt, F et al: Neues, vorteilhaftes Verbundmittl für Stahlverbund-Tragwerke mit hoher Dauerfestigkeit, Beton- und Stahlbeton, pp.325-331, Dec.1987.