

孔あき鋼板ジベルの貫通鉄筋の効果に関する実験的研究

宇都宮大学 学生員 ○ NGUYEN MINH HAI 学生員 橋本昌利
フェロー 中島章典 正会員 鈴木康夫

1. はじめに

従来、橋梁構造物などの構造形式として、鋼構造やRC構造などが主に適用されてきたが、コンクリートと鋼構造を組み合わせ、それぞれの長所を活かした複合構造形式の採用事例が増えてきている。この複合構造形式では、それぞれの材料の接合部で十分な応力伝達を図るために接合部でずれ止めが必要となる。ずれ止めとして頭付きスタッドが多用されてきたが、昨今、製作時の省力化、接合部のコンパクトな断面の設計を可能にすることが期待される孔あき鋼板ジベル (PBL) の優位性が注目され、その施工例も増加している。

孔あき鋼板ジベルとは鋼板に孔を開け、そこにコンクリートを打設し、コンクリートが硬化した後、孔に充填されるコンクリートのせん断抵抗で鋼材とコンクリートを一体化させる方法である。この孔あき鋼板ジベルは波型鋼板ウェブ橋、混合桁、ラーメン橋剛結部、合成床版などに広く使用されている。孔あき鋼板ジベルを用いる際には、ジベル孔に貫通鉄筋を配置するのが一般的である。そして、貫通鉄筋を有する孔あき鋼板ジベルのせん断耐力は、ジベル孔部分のコンクリートのせん断強度と貫通鉄筋のせん断強度の足し合わせで評価できるとされている。しかし、孔あき鋼板ジベルの貫通鉄筋の挙動はせん断耐力に及ぼす効果については必ずしも明確になっていない。

そこで本研究では、孔あき鋼板ジベルの貫通鉄筋の効果を明確にすることを目的として、ジベル孔径と貫通鉄筋径を相対的に変えた試験体を用いて押抜き試験を行い、荷重—ずれ変位関係や貫通鉄筋の挙動を詳細に調べた。

2. 実験概要

(1) 試験体

孔あき鋼板ジベルの貫通鉄筋の効果を確認するために、2つのシリーズの実験を行う。それぞれの試験体詳細を表-1に示す。試験体名はD:ジベル孔径、NR:貫通鉄筋無し、PR:鉄筋有りを意味している。ただし、これらの試験体のコンクリートブロック寸法は幅500mm、高さ450mmである。貫通鉄筋、配力鉄筋、帯鉄筋はすべて直径10mmの異形鉄筋を使用した。作製した試験体の詳細寸法を図-1に示す。

(2) 試験方法と測定項目

a) 押抜き試験

試験体を載荷フレームの台座上に設置し、1000kNの油圧ジャッキで、載荷を行った。試験体の下に砂を敷き、鋼板の鉛直状態を保持すると同時に試験体底面の摩擦の影響

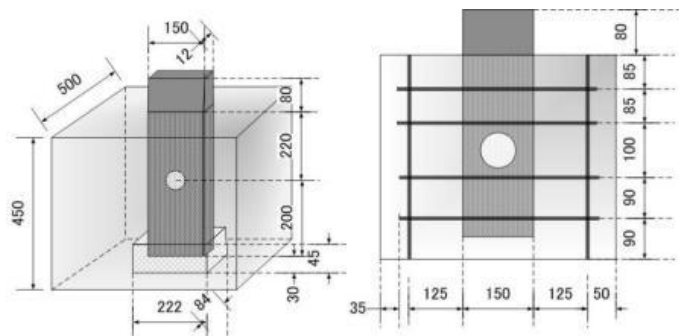


図-1 試験体詳細

を極力除去した。相対ずれ変位が20mmに達した時点で載荷を終了する。シリーズ1では試験体3体の内、繰返し載荷1体、単調載荷2体で、シリーズ2では全試験体に繰返し載荷を行った。鋼板上面から載荷を行い、高感度変位計を試験体上面に2つ取り付け鋼板とコンクリートブロックの相対ずれ変位を計測した。また、シリーズ2では貫通鉄筋のひずみを計測するために、貫通鉄筋を溝切りし、間隔20mmごとに貫通鉄筋1本当たり18枚のひずみゲージを両面に貼り付けた。

b) 試験体の切断

押抜き試験が終了した後、種類ごとに代表的な試験体のコンクリートブロックを切断し、ジベル孔部分の破壊状況を観察した。

(3) 使用材料

シリーズ1の実験で使用したコンクリートの圧縮強度、静弾性係数及び引張強度の平均値はそれぞれ31.1N/mm²、29.2kN/mm²、2.8N/mm²である。また貫通鉄筋はD10の異形鉄筋(SD295A)を使用し、降伏強度409N/mm²、引張強度548N/mm²である。鋼板はSS400を使用し降伏強度、引張強度はそれぞれ361N/mm²、439N/mm²である。

シリーズ2の実験で使用したコンクリートの圧縮強度、静弾性係数及び引張強度の平均値はそれぞれ33.2N/mm²、27.3kN/mm²、3.3N/mm²である。鋼板はSS400を使用し降伏強度、引張強度はそれぞれ355N/mm²、443N/mm²である。

3. 実験結果

(1) 荷重—ずれ変位関係

実験を行ったすべての試験体の荷重—ずれ変位関係を図-2～図-6に示す。荷重—ずれ変位関係を全体的に見ると、どちらも荷重が小さいときには、ほとんどずれ変位を生じないが、荷重がある値に達すると曲線の傾きが変わり始める。この点の荷重を付着力と定義する。載荷荷重が付着力

Key Words: 孔あき鋼板ジベル、破壊メカニズム、貫通鉄筋の挙動

〒321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学工学部建設学科 Tel.028-689-6210 Fax.028-689-6210

表-1 試験体種類とせん断耐力

試験体名	ジベルの孔径 (mm)	貫通鉄筋 有無	試験体数		せん断耐力の平均値 (kN)	
			シリーズ 1	シリーズ 2	シリーズ 1	シリーズ 2
D10PR	10	有	3	-	95	-
D30PR	30	有	3	2	99	82
D60PR	60	有	3	2	281	253
D90PR	90	有	3	2	410	388
D30NR	30	無	3	1	49	59
D60NR	60	無	3	1	221	176
D90NR	90	無	3	1	386	395

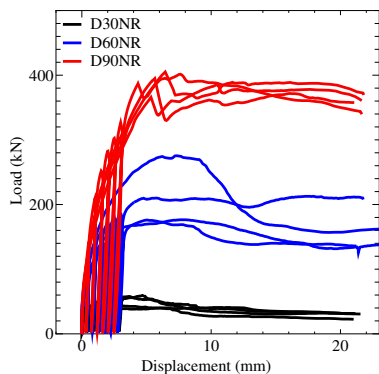


図-2 荷重-変位関係 (貫通鉄筋無し)

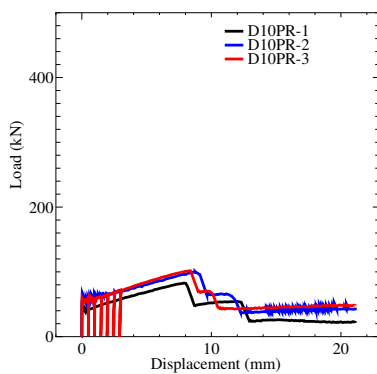


図-3 荷重-変位関係 (D10PR)

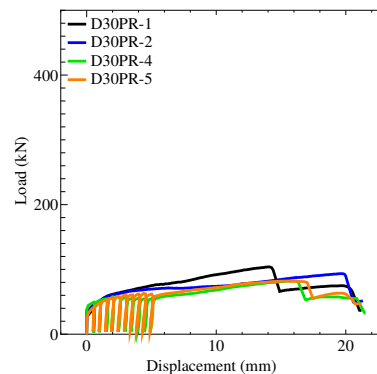


図-4 荷重-変位関係 (D30PR)

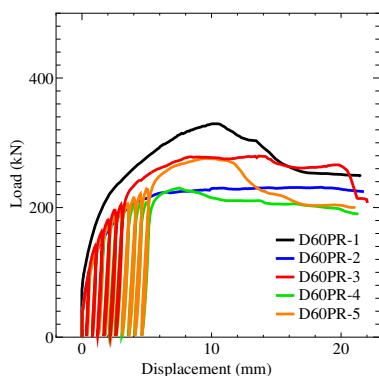


図-5 荷重-変位関係 (D60PR)

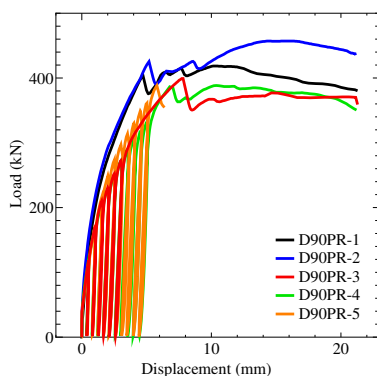


図-6 荷重-変位関係 (D90PR)

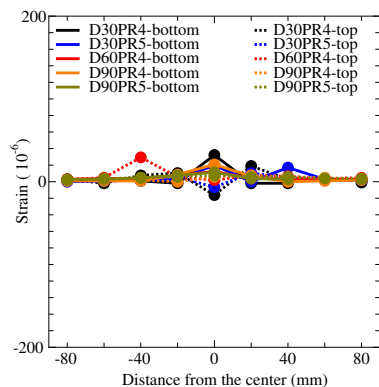


図-7 上下ひずみ分布 (付着力点の直前)

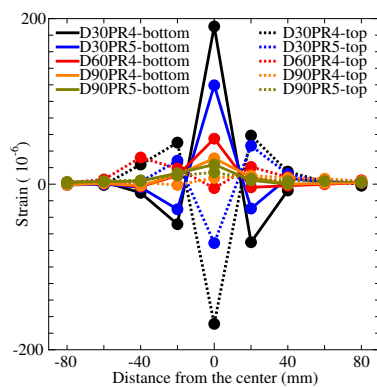


図-8 上下ひずみ分布 (付着力点)

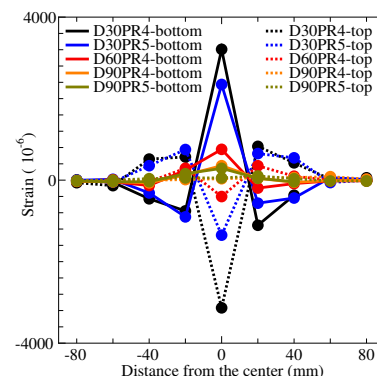


図-9 上下ひずみ分布 (ずれ変位が 0.5mm の時)

を超えてから、鋼板が動き始めると考えられる。実験結果によると試験体のジベル孔径や貫通鉄筋の有無に関係なく、付着力は 25kN～70kN の範囲にある。

付着力を超えてから、ずれ変位が増加するとともに荷重が増加し、最大荷重に達する。この最大までの荷重増加は

曲線の傾きで判断すると、貫通鉄筋の有無やジベル孔径の違いによってそれぞれ異なる。この理由は後述するせん断耐力や貫通鉄筋の挙動の項目で説明する。

また、荷重が最大に達した後、ずれ変位が増加しながら荷重が減少する。場合によって荷重が急激に減少するもの

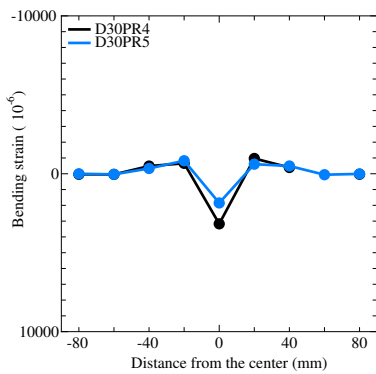


図-10 ずれ変位 0.5mm 時の曲げひずみ分布 (D30PR)

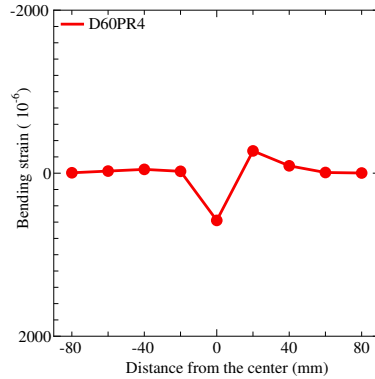


図-11 ずれ変位 0.5mm 時の曲げひずみ分布 (D60PR)

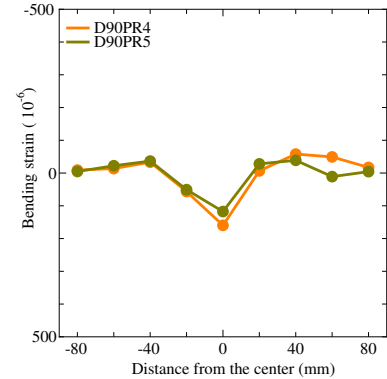


図-12 ずれ変位 0.5mm 時の曲げひずみ分布 (D90PR)

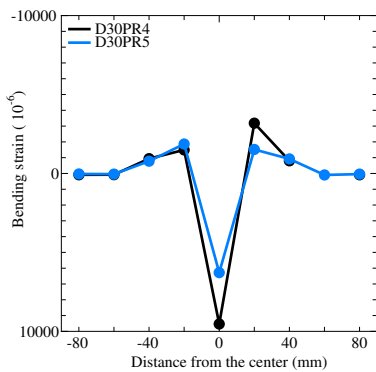


図-13 ずれ変位 1mm 時の曲げひずみ分布 (D30PR)

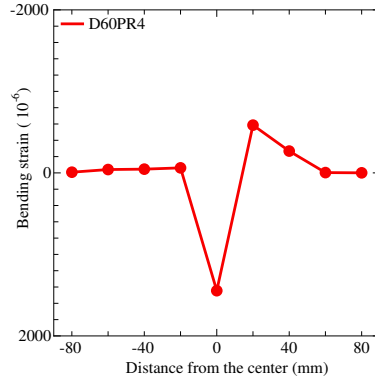


図-14 ずれ変位 1mm 時の曲げひずみ分布 (D60PR)

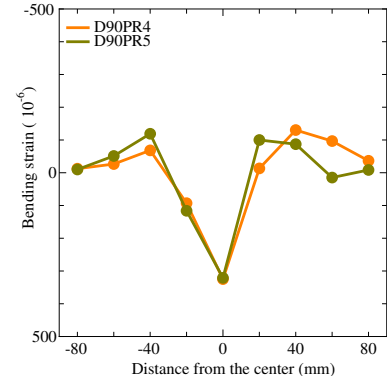


図-15 ずれ変位 1mm 時の曲げひずみ分布 (D90PR)



写真-1 D30PR1 の破壊状況



写真-2 D60PR2 の破壊状況

と緩やかに減少するものがある。D10PR, D30PR において荷重の減少が急激に生じた理由は貫通鉄筋が切れたからである。一方, D90NR, D90PR の場合にはコンクリートブロックにひび割れが発生したからである。

(2) セン断耐力

荷重-ずれ変位関係のずれ変位が 20mm までの範囲において、最大となる荷重をせん断耐力と定義する。D90 試験体の場合にはコンクリートブロックにひび割れが発生した時点で荷重が急に減少し、その後荷重が少し増加する場合もある。しかし、コンクリートブロックのひび割れ発生点の荷重をせん断耐力と定義する。

ジベル孔径及び貫通鉄筋の有無が異なるグループごとの試験体のせん断耐力の平均値を表-1 に示す。シリーズ 2 の貫通鉄筋を有する試験体はひずみゲージを貼り付けるために、貫通鉄筋に溝を切った。そのためシリーズ 2 の貫通鉄

筋有りの試験体のせん断耐力はシリーズ 1 より弱くなったと考えられる。

ジベル孔径の違いに着目するとジベル孔径が大きくなるほど、もちろんせん断耐力は増加する。一方、ジベル孔径によって、貫通鉄筋の有無によるせん断耐力の差が異なってくるが見える。ジベル孔径 30mm, 60mm, 90mm の貫通鉄筋の有無によるせん断耐力の差はシリーズ 1 でそれぞれ 50kN, 60kN, 24kN, シリーズ 2 で 23kN, 77kN, -7kN となっている。しかし、貫通鉄筋無し場合のせん断耐力はばらつくことと、シリーズ 1 とシリーズ 2 のコンクリートの圧縮強度は近い値となったため、貫通鉄筋無しの場合のせん断耐力はシリーズ 1 とシリーズ 2 の平均値で考察する。この値で比較すれば、ジベル孔径 30mm, 60mm, 90mm の貫通鉄筋の有無によるせん断耐力の差はシリーズ 1 でそれぞれ 45kN, 83kN, 20kN, シリーズ 2 で 28kN,

55kN, -3kN となった。この結果から、同じ径の貫通鉄筋を使用してもジベル孔径によって、その貫通鉄筋の効果も異なることがわかる。ジベル孔径 90mm の場合においては、貫通鉄筋の有無によるせん断耐力の差の傾向がはっきりしないのは貫通鉄筋の効果を発揮する前にコンクリートブロックにひび割れが生じてしまったからだと考えられる。一方、ジベル孔径 30mm の場合の貫通鉄筋の有無によるせん断耐力の差はシリーズ 1, シリーズ 2 のどちらにしても、ジベル孔径 60mm 場合より小さい値となった。このことについては貫通鉄筋の挙動の項目でさらに説明する。

(3) ジベル孔部分の破壊面の観察

シリーズ 1 の押抜き試験の後、種類ごとの代表として D10PR2, D30NR2, D30PR1, D60NR1, D60PR2, D90NR3 の試験体のコンクリートブロックを切断した。写真-1 と写真-2 は D30PR1 と D60PR2 試験体のジベル孔部分の破壊面を示している。全体的に D60PR2 試験体以外の破壊面は 2 面せん断破壊であると観察できた。しかし、D60PR2 の試験体の破壊面は写真-2 のように前述のせん断破壊とは異なり、ジベル孔部分の貫通鉄筋周辺の面を観察すれば、凹の状態になっていることが分かる。

(4) 貫通鉄筋の挙動

載荷中に貫通鉄筋の上下面に貼り付けたひずみゲージにより、付着力の直前、直後の時点とずれ変位が 0.5mm になる時点における貫通鉄筋の上下ひずみ分布を図-7 ～ 図-9 に示している。ここで、引張が正、圧縮が負である。また、上下ひずみの差分の 1/2 を曲げひずみ (上が圧縮、下が引張を正) と定義する。図-10 ～ 図-12 にずれ変位が 0.5mm になる時の貫通鉄筋の曲げひずみ分布を示す。また、図-13 ～ 図-15 にずれ変位が 1mm になる時の貫通鉄筋の曲げひずみ分布を示す。

まず図-7, 図-8 に着目すると、付着力の直前の時点では鋼板が動かず、全試験体の貫通鉄筋のひずみは 40×10^{-6} より小さい値となった。しかし、その直後はひずみが急に増加したことがわかる。このことから、貫通鉄筋の効果が出るのは付着力を超えてからと判断できる。

一方、ずれ変位が 0.5mm になる時の上下ひずみ分布を表す図-9 において、ジベル孔径に着目するとジベル孔径が小さいほど、ひずみの値が大きいことから、同じずれ変位においても、ジベル孔径が小さいほど貫通鉄筋が負担している力が大きいことが分かる。また、貫通鉄筋中央からの距離に着目すると、ひずみは貫通鉄筋の中央位置で最も大きく、中央から離れるほど小さくなっていることから、貫通鉄筋の中央部において大きな力が発生していることが分かる。

次に、図-10, 図-11, 図-12 から各試験体の貫通鉄筋の曲がり具合が確認できる。中央点からの距離に着目すると貫通鉄筋の中央部に大きな正曲げひずみが発生し、その外側の変化が少ないことが見える。この段階ではコンクリートを介して、貫通鉄筋に作用する力が局部的な曲げ

を生じさせていると理解できる。そして、ジベル孔径が小さいほど貫通鉄筋中央部の曲げひずみが非常に大きいことが分かる。一方で、中央点から外側向かって曲げひずみが負となっている位置を貫通鉄筋の局部的な曲げの支点として考えると、図-13, 図-14, 図-15 から、ジベル孔径 90mm の支点間隔はジベル孔径 60mm, 30mm の場合より広いと言える。簡単に言えば、ジベル孔径 90mm の場合の貫通鉄筋の曲がり方が他の場合より緩やかな状態であることが分かる。

4. おわりに

ジベル孔径と貫通鉄筋径の相対的關係を考えた孔あき鋼板ジベルの試験体を用い、押抜き試験を行った結果以下の知見を得た。

1. 貫通鉄筋を有する孔あき鋼板ジベルでは、同じの貫通鉄筋径を用いても、ジベル孔径の違いによって、貫通鉄筋の挙動や効果も異なってくる事が分かった。
2. ジベル孔径 90mm の試験体の実験結果から、コンクリートブロック寸法に対して、ジベル孔径が大きい場合は孔に充填されるコンクリートのせん断破壊に伴って、コンクリートブロックにひび割れが生じる。
3. 貫通鉄筋のひずみは鉄筋の中央部が最も大きく、中央から離れるほど低下する。ジベル孔径が小さいほど貫通鉄筋のひずみが早期に大きくなり、鉄筋の曲がりも大きい。

本研究では、押抜き試験の結果にバラツキが多く生じたこと、ジベル孔径 90mm 試験体のコンクリートブロックにひび割れが発生してしまったことから、得られた結果の適応範囲が広い内容とは言い難い。今後データの蓄積が必要と考えられる。また、数値解析による検討も加えて確認することとしたい。

参考文献

- 1) 中島章典, 小関聡一郎, 内藤雅人, 中島絢平, 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に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.57A, pp.996-1006, 2011.3.
- 2) 古内仁, 上田多門, 鈴木統, 田口秀彦: 孔あき鋼板ジベルのせん断伝達耐力に関する一考察, 第 6 回復合構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, No26, 2005, 11.
- 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実験的研究, 構造工学論文集, Vol.48A, pp.1265-1272, 2002.3.
- 4) 西海健二, 富永知徳, 室井進次, 古市耕輔: 拘束条件を考慮した孔あき鋼板ジベルのずれ止め特性に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.3, pp.865-870, 1998.6.
- 5) 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.