

孔あき鋼板ジベルの貫通鉄筋のダウエル効果に関する検討

宇都宮大学大学院 学生会員 ○ NGUYEN MINH HAI
フェロー会員 中島章典

1. はじめに

複合構造のずれ止めに用いられる孔あき鋼板ジベルでは、ジベル孔内に貫通鉄筋を配置するのが一般的である。複合構造標準示方書¹⁾に採用されている孔あき鋼板ジベルのせん断耐力評価式は、その耐力に関係すると考えられるパラメータを考慮した実験結果の統計処理に基づいているが、必ずしも孔あき鋼板ジベルのせん断抵抗機構に立脚したものではない。一方、藤井ら²⁾が提案した貫通鉄筋を有する孔あき鋼板ジベルのせん断耐力評価式では、貫通鉄筋の軸変形がせん断抵抗に及ぼす効果に着目し、貫通鉄筋のいわゆるダウエル効果は考えていない。しかし、著者らのこれまでの実験では、やはり貫通鉄筋の曲げ変形に伴うダウエル効果も存在することが推測される。

そこで本研究では、押抜き試験で調べた孔あき鋼板ジベルの貫通鉄筋のひずみ挙動を参考にし、貫通鉄筋の曲げ変形に関する数値解析を用いて貫通鉄筋の曲げ変形に起因したダウエル効果を定量的に確認する。

2. 押抜き試験による貫通鉄筋の曲げ変形

(1) 押抜き試験の概要

ジベル孔内の貫通鉄筋のひずみ挙動を調べるために、図-1のような試験体を用い、押抜き試験を行った。この際、ジベル孔径、貫通鉄筋径、ジベル鋼板厚をパラメータとし、試験体一覧を表-1に示す。試験体名のD, T, Rに続く数字はそれぞれジベル孔径、ジベル鋼板厚、貫通鉄筋径を示し、最後は材料特性の種類を表す文字である。この際、溝切した鉄筋に貼り付けたひずみゲージにより貫通鉄筋の長手方向のひずみを計測した。ジベル孔の板厚中央を基準として、両側±80mm、または±120mmの位置まで、20mm間隔でひずみゲージを上下に貼り付けた。また、全試験体のジベル鋼板にはSS400を使用し、帯鉄筋、鉛直方向の配力鉄筋にはSD295AのD10を使用した。ここでは、ジベル鋼板と貫通鉄筋の材料特性の詳細を省略する。

一方、荷重は試験体の平鋼板突き出し部上面から載荷し、試験体底面には平坦性を確保するために砂を敷いた。また、ジベル鋼板とコンクリートの付着を低減するために、ジベル鋼板にグリースを塗布した。

(2) 荷重-貫通鉄筋の曲げひずみ関係

押抜き試験においては、荷重の増加とともに貫通鉄筋の軸ひずみも生じているが、ここでは、曲げひずみのみに着目する。なお、載荷荷重と貫通鉄筋の中央位置およびその両隣±20mm位置の曲げひずみの関係を、ジベル孔径、貫通鉄筋径、ジベル鋼板厚を変化させた場合について、図-2、図-3、図-4に示している。図の実線は中央位置、破線はその両隣±20mm位置の曲げひずみである。

荷重の大きさが、ジベル鋼板とコンクリートの付着が切れた約40kNを越えると、実線で示す荷重の増加とともに中央位置の曲げひずみは正側で大きく生じている。これに対して、両隣±20mm位置の曲げひずみは初期に正側で生じている場合もあるが、その後、負側に進展する傾向がある。つまり、ジベル孔部分のコンクリートのせん断ひび割れが生じるとともに荷重が貫通鉄筋の鉛直方向にも伝達さ

表-1 試験体一覧

試験体名-番号	コンクリート 圧縮強度 (N/mm ²)	孔径 (mm)	貫通 鉄筋径 (mm)	板厚 (mm)	体 数
D30T12R10-F1,2	30.9	30	10	12	2
D60T12R10-F1,2,M1,2	30.9, 32.5	60	10	12	4
D90T12R10-F1,2	30.9	90	10	12	2
D60T12R13-N1,2	32.5	60	13	12	2
D60T12R16-O1,2,P1,2	32.5, 34.1	60	16	12	4
D60T19R16-Q1,2	34.1	60	16	19	2
D60T25R16-R1,2	34.1	60	16	25	2

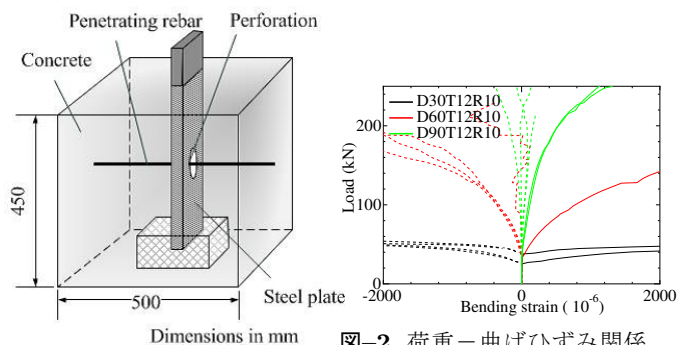


図-1 押抜き試験体の概要

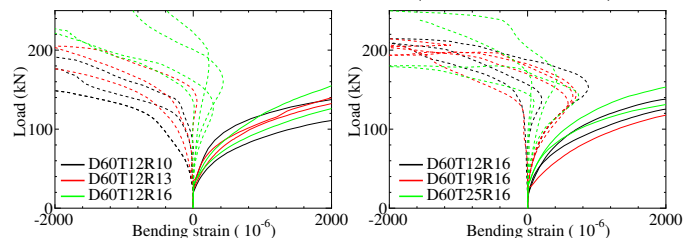
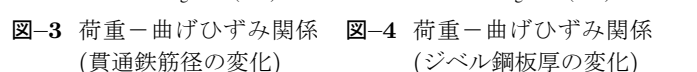
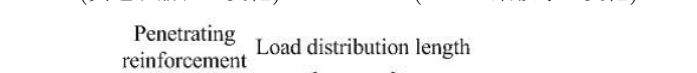
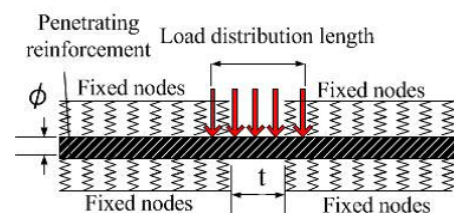
図-2 荷重-曲げひずみ関係
(ジベル孔径の変化)図-3 荷重-曲げひずみ関係
(貫通鉄筋径の変化)図-4 荷重-曲げひずみ関係
(ジベル鋼板厚の変化)

図-5 解析モデル概要

れ、貫通鉄筋の変形によりダウエル効果が生じている。図-2、図-3、図-4によりジベル孔径、貫通鉄筋径あるいはジベル鋼板厚の差異によってジベル鋼板から貫通鉄筋に作用する力の分布幅が異なり、また、貫通鉄筋周りのコンクリートの支圧挙動が異なるため、中央位置の両隣±20mm位置のひずみが複雑な挙動を示していると考えられる。これらの点については以下の数値解析を用いて考察する。

3. 貫通鉄筋の曲げ変形に関する数値解析

(1) 解析モデルの概要

上記2(2)の実験結果を参考にし、その曲げ変形を生じさせる力の大きさを調べるために、図-5のような解析モデルを構築し、弾塑性解析を行った。この解析モデルでは、

Key Words: 複合構造, 孔あき鋼板ジベル, 貫通鉄筋, ダウエル効果, 数値解析

〒321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学大学院工学研究科 Tel.028-689-6210 Fax.028-689-6210

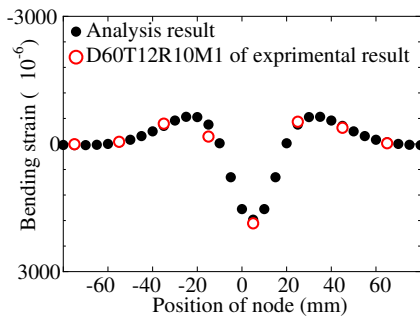


図-6 曲げひずみ分布の比較一例

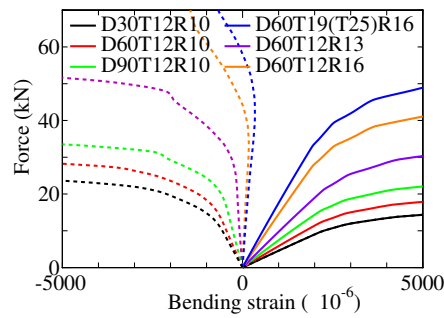


図-7 作用力-中央位置の曲げひずみ関係

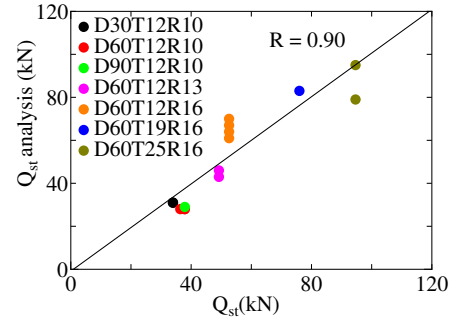


図-8 曲げ抵抗力の解析値-式(1)の関係

実験で用いた押抜き試験体の貫通鉄筋および周辺コンクリートの部分を再現し、貫通鉄筋を梁要素とし、その節点の垂直方向上下にコンクリートを表す支圧ばねを、長手方向に付着ばねを配置している。支圧ばねの支圧力-変位関係にはコンクリートの応力-ひずみ関係のような2次放物線型を用い、支圧強さは文献3)の算定方法を参考にし、支圧ばね定数は文献4)の算定方法を参考にした。また、付着ばねのばね定数には十分大きい値 (10^7 N/mm) を与えた。貫通鉄筋に連結されていない側の支圧ばねの節点には固定条件を与えた。貫通鉄筋とした梁要素に対して、鋼材の完全弾塑性型の応力-ひずみ関係を与えた。コンクリートから貫通鉄筋に作用する力には図-5のように中央部付近に等分布荷重として与えた。

一方、押抜き試験において、ジベル孔径あるいはジベル鋼板厚を変えた実験で得られた貫通鉄筋の長手方向曲げひずみ分布はそれぞれ異なっている。この理由は、それぞれの諸元を変えた場合に、コンクリートから貫通鉄筋に伝達される力の分布幅が異なるためであると考えられる。そこで、作用力の分布幅は実験結果と解析結果における曲げひずみ分布を比較して試行錯誤的に決めた。ジベル孔径60mm、ジベル鋼板厚12mm、貫通鉄筋径10mmの場合の曲げひずみ分布の実験結果と解析結果の比較の一例を図-6に示す。縦軸は曲げひずみを、横軸はジベル孔の中央位置からの距離を表している。この場合の作用力の分布幅は20mmと決定したが、実験および解析のひずみ分布はある程度一致していることがわかる。このような比較をすべての試験体に対して、貫通鉄筋の中央位置の曲げひずみが1000, 2000, 5000, 10000×10^{-6} 程度となる4段階で行い、実験結果と解析結果の曲げひずみ分布がほぼ一致することを確認した。なお、その際の作用力の分布幅は試験体のパラメータに応じて10, 20, 30mmとした。

(2) 解析結果

図-7は解析で得られた貫通鉄筋の中央位置およびその両隣±20mm位置の曲げひずみと作用力の関係を示し、縦軸は作用力の合計を、横軸は曲げひずみを表している。図中の線の色の違いは、ジベル孔径、貫通鉄筋径、ジベル鋼板厚の違いに対応しており、実線が貫通鉄筋の中央位置、点線はその両隣位置の曲げひずみを表している。この図から、解析で再現する貫通鉄筋の曲げひずみ挙動は2(2)で考察した実験の挙動と同様の傾向を示している。つまり、作用力の増加とともに、中央位置の曲げひずみは正側で大きく発生しており、その両隣位置の曲げひずみは基本的に負側に発生しているが、貫通鉄筋径が16mmの場合には、初めに正側の曲げひずみが生じ、その後、作用力の増加とともに負側に大きくなっていることがわかる。

一方、ジベル孔径が異なる黒線、赤線、緑線に着目すると、ジベル孔径が小さいほど同じ曲げひずみで作用力は小

さい。しかし、図-2において同程度の曲げひずみ時の荷重の大きさを勘案すれば、ジベル孔径が小さいほど貫通鉄筋の作用力、つまり、貫通鉄筋がせん断に抵抗するダウエル効果は大きいことがわかる。また、貫通鉄筋径が異なる赤線、紫線、橙線とジベル鋼板厚が異なる橙線と青線に着目すると、同じ曲げひずみで貫通鉄筋径およびジベル鋼板厚が大きいほど作用力は大きい。しかし、図-3および図-4では同程度の曲げひずみ時の荷重の大きさに大きな違いは見られない。つまり、同程度の荷重においても貫通鉄筋径およびジベル鋼板厚が大きいほど貫通鉄筋のダウエル効果は大きいと言える。

(3) せん断耐力に及ぼす貫通鉄筋のダウエル効果の推定

押抜き試験におけるせん断耐力時の貫通鉄筋のダウエル効果による抵抗力を求めるために、2(2)の図-2、図-3、図-4に示した荷重と曲げひずみの関係から、せん断耐力時の貫通鉄筋中央位置の曲げひずみを読み取り、図-7を用いてその曲げひずみに対応させれば、貫通鉄筋の抵抗力が求められる。ここで、求められた貫通鉄筋の抵抗力 Q_{st} を従属変数、ジベル孔径 D 、ジベル鋼板厚 T 、貫通鉄筋径 ϕ 、その降伏強度 f_{yd} を説明変数として、重回帰分析を行った結果、以下の式が得られた。つまり、このような関係を用いて貫通鉄筋を有する孔あき鋼板ジベルのせん断耐力評価式を構築することができると考えられる。

$$Q_{st} = 0.84\phi f_{yd} D^{0.1} T^{0.8} \quad (1)$$

4. おわりに

本研究では、押抜き試験および数値解析を用い、孔あき鋼板ジベルに配置する貫通鉄筋の曲げ変形に起因したダウエル効果を定量的に確認した。そして、貫通鉄筋のダウエル効果は孔あき鋼板ジベルのせん断抵抗に寄与し、ジベル孔径、貫通鉄筋径あるいはジベル孔径の差異によってこの効果が異なっていることを示している。今後には本研究で調べた貫通鉄筋のダウエル効果も考慮した孔あき鋼板ジベルのせん断耐力評価式を構築する予定である。

本研究の一部は、科学研究費補助金(基盤研究(C)、課題番号22560472)の補助を受けて実施した。試験体製作および載荷試験にあたっては、宇都宮大学の鈴木康夫助教をはじめ研究室の皆様にご多大のお世話になりました。ここに記して関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会：複合構造標準施工方書, pp.64-66, 2009.12.
- 2) 藤井ら：孔あき鋼板ジベルのずれ耐力評価式, 第10回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム講演集, No.68, 2013.11.
- 3) 土木学会：プレストレストコンクリート設計施工指針, pp.82, 1961.
- 4) K. Maekawa: Computational model for reinforcing bar embedded in concrete under combined axial pullout and transverse displacement, J. Material, Concrete structure, Pavements, JSCE, No. 538, V-31, 227-239, 1996.5.