

論文

[2046] 平滑な面における鉄筋のダボ効果について

正会員○篠田佳男（前田建設工業技術研究所）
 正会員 三島徹也（ 同 上 ）
 正会員 大野琢海（前田建設工業土木設計部）
 正会員 田中伯明（ 同 上 ）

1. はじめに

鉄筋コンクリート接合面におけるせん断耐力は、鉄筋の軸力から生じるコンクリート面での圧縮力に基づいた摩擦力と鉄筋のせん断伝達の重ね合わせによって決定される[1]。そのため、接合面でのせん断伝達を一方のみに基づいて検討するには問題があるように思われる。とりわけ、ひびわれ面でのせん断伝達については、前者がかなり大きくなるため、鉄筋のダボ力が無視されがちである。しかし、この場合でもある限界以上の鉄筋が存在すると、せん断耐力は、鉄筋のダボ力を考慮しないと矛盾が生じる。

一方、引張鉄筋に軸力とダボ力が連成することは鈴木ら[2],[3]に指摘されているように、鉄筋の軸力の存在がダボ耐力を低下させる。そのため、接合面におけるせん断伝達の解析精度を向上するには、鉄筋軸力とダボ力の連成問題として詳細に検討することが重要であると考えられる。

本研究は、このような背景を考慮して、平滑な面からチッピングやひびわれ等の凹凸の影響が大きい接合面までのせん断伝達を精度よく評価することを目的に実施しているものである。なお、鉄筋軸力とダボ力の連成効果については別報[3]で詳しく検討を加えることとし、本報告では、平滑なコンクリート面におけるせん断伝達機構を鉄筋のダボ効果を中心として検討する。

2. 実験概要

実験は、図-1に示すように、せん断面が60×36cmのPush-Off型一面せん断試験体を使用して行った。また、試験体への载荷は、鋼材で作製した载荷用治具をφ32のP C鋼棒で連結し、载荷点間の軸線とせん断面が一致するように試験体を設置して行った。なお、試験体は、ローラ支承とすることで周囲からの拘束を除去し、せん断面には直接せん断力が作用するようにした。

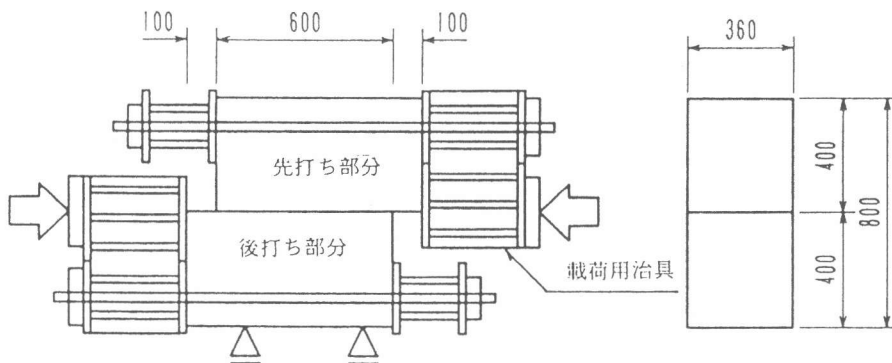


図-1 実験概要図

試験体は、先打ち部分の打継ぎ面を平滑に仕上げ、材令7日で後打ち部分のコンクリートを打設して作製した。なお、仕上げ程度は小手仕上げであるが、できるだけ打継ぎ面が平滑になるよう特に注意を払った。試験体は、表-1に示すように、せん断面を貫通する主筋をパラメータとして、この鉄筋比を0.37~1.10%に変化させた。鉄筋は、表-2に示す機械的性質のものを、主筋にD16を、また、試験体の補強にD19を使用した。コンクリートは、表-3に示す配合のもので、セメントに早強ポルトランドセメントを使用した。

測定項目は、接合面での開口変位とズレ変位、及び主筋のひずみとした。接合面における変位は、中央と中央から両側に20cm離れた位置とし、試験体の表裏の計6カ所に高感度型変位計を設置して測定を行った。主筋のひずみは、図-2に示す位置で測定を行った。なお、鉄筋には溝切り加工を行い、その溝切り加工部分にひずみゲージを貼り付けた。また、ひずみは、作用せん断力に対して曲げひずみとなる方向で測定を行った。

表-1 試験体一覧

試験体		コンクリート強度 (kgf/cm ²)		鉄筋比 (%)
NO	名称	先打部分	後打部分	
1	DSM37-0	280	264	0.37
2	DSM74-0	309	245	0.74
3	DSM110-0	264	240	1.10

表-2 鉄筋の機械的性質

	降伏強度 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 (×10 ⁶ kgf/cm ²)
D16	3754	5514	1.88
D19	3806	5590	1.93

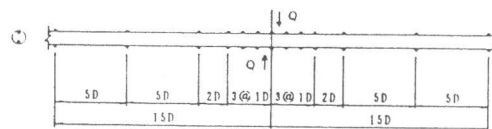


図-2 鉄筋のひずみ分布測定位置

表-3 コンクリートの配合

骨材の最大寸法 (mm)	スラブ (cm)	水セメント比 (%)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位置 (kg/m ³)				
					水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
20	18	57.5	4.0	48.7	185	322	857	918	3.61

3. 実験結果及び検討

(1) 鉄筋ひずみ

図-3は、鉄筋のひずみ分布の代表的な例を示したものである。鉄筋のひずみは、せん断面に対してほぼ対象で、引張側が圧縮側より大きくなっている。なお、ひずみの大きさでみると、せん断面から1Dあるいは2D離れた位置でピークを示し、またせん断面から5D以上も離れると、圧縮側にあったひずみも若干引張側となるかほぼゼロに近い値となる。これは、せん断力の作用により鉄筋に曲げモーメントと軸力が作用し、その支配断面がせん断面より1Dから2D離れた位置ときわめてせん断面に近い位置となっていることを示している。

図-4は、曲げモーメントが卓越して作用していると推定される位置での曲げひずみと軸ひずみ履歴の代表的な例を示したものである。曲げひずみは、引張側が圧縮側を若干上回りながら、せん断応力の増加とともにその値を増し、降伏ひずみ（せん断曲げ降伏耐力 τ_{by} ）に達することを示している。

これに対して、軸ひずみは、 τ_{by} まではそれほど大きな値ではないが、500 μ 程度まではほぼ線形的に値を大きくし、さらに τ_{by} を上回ると急激に値を増大させ降伏ひずみ（せん断降伏耐力 τ_{by} ）に至る。

鉄筋ひずみは、このように曲げによるひずみがかなり大きくなっているが、弾性範囲においても鉄筋に軸ひずみが生じていることが認められた。これは、平滑な断面であっても微視的にみれば凹凸面を形成していることを示唆している。

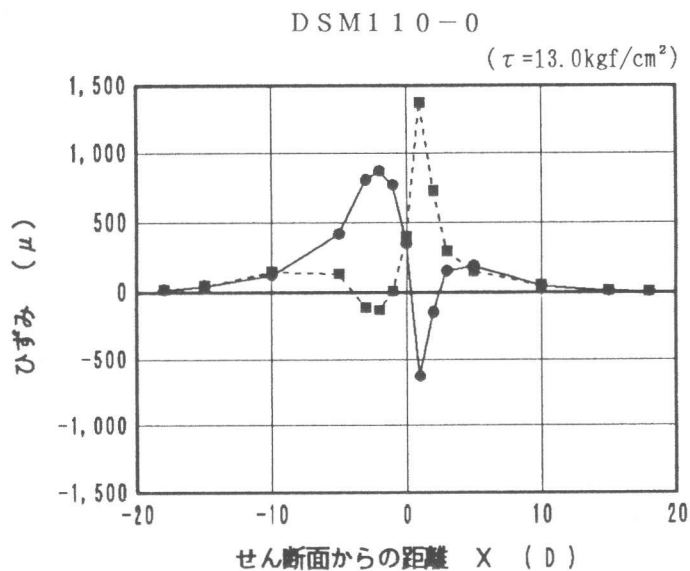


図-3 鉄筋ひずみ分布

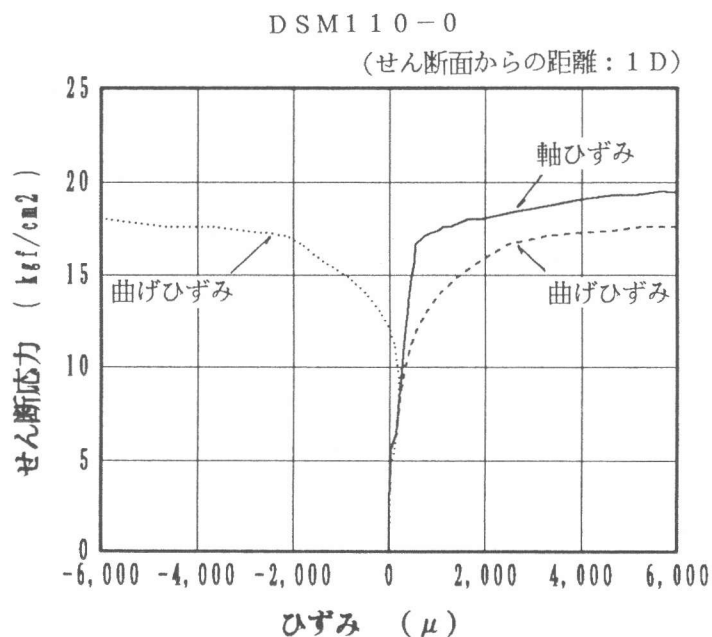


図-4 鉄筋のひずみ履歴図

このような鉄筋ひずみの実験結果から、鉄筋の支配断面での応力状態は、図-5に示すように推移すると考えられる。ここで、(a)は鉄筋が弾性状態、(b)は引張縁が降伏するせん断曲げ降伏耐力 τ_{by} 、(c)は塑性領域が進行している状態、そして(d)は全塑性状態に近似されるせん断降伏耐力 τ_{sy} を示している。また、この全塑性状態は、図-6に示す曲げと軸力成分に分けられる。

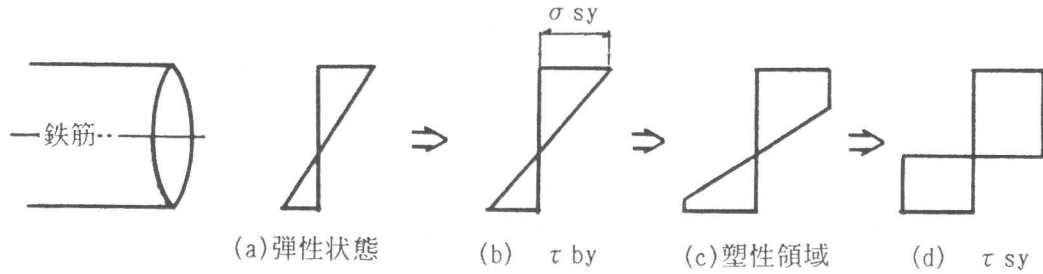


図-5 鉄筋断面内の応力状態

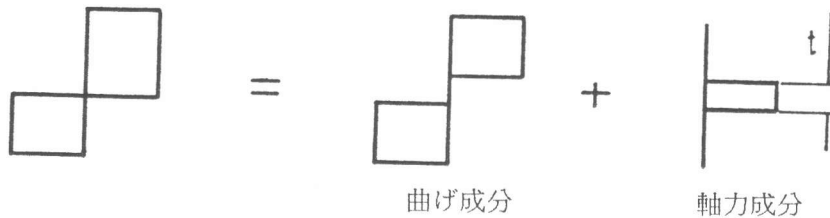


図-6 鉄筋の全塑性応力状態

(2) せん断面のズレ変位

図-7は、せん断面におけるズレ変位履歴を示したものである。ズレ変位量は、鉄筋比にかかわらず、せん断面がはだ割れを生じると、ほぼ線形的に値を大きくする。次にせん断曲げ降伏耐力 τ_{by} を超えると放物線的に値を大きくし、さらにせん断降伏耐力 τ_{sy} 以降になると剛性が著しく低下し、ほぼ一定の勾配で値を急激に増大させる。また、今回の実験では、この τ_{sy} 時におけるせん断面のズレ変位量は1.2~1.4mmであった。

このようなせん断面でのすべり現象と鉄筋断面内の応力状態を含めて考えると、平滑な面における終局せん断耐力は、せん断降伏耐力 τ_{sy} としてよいものと思われる。

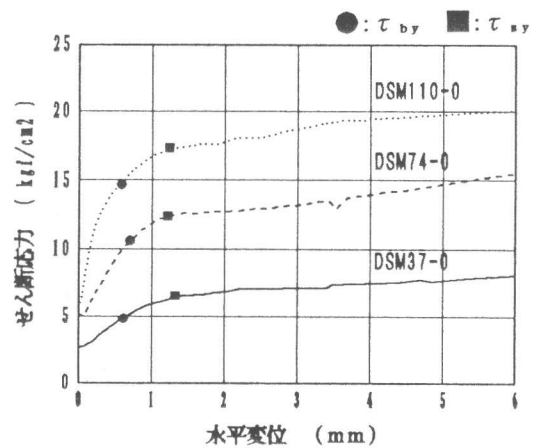


図-7 せん断面のズレ変位履歴図

4. せん断伝達機構

(1) 基本仮定

平滑な面に作用するせん断力 Q は、鉄筋のダボ効果により負担されるせん断力 Q_s と、コンクリート面で負担される Q_c に分けられる。ここで、 Q_s は、図-8に示すように、鉄筋に作用する曲げモーメントと軸力で抵抗される。また、 Q_c は、コンクリート面に作用している圧縮力 N_c とコンクリート面での摩擦係数 μ_c で抵抗される。

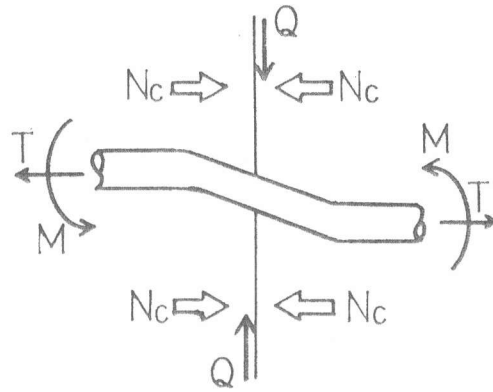


図-8 せん断伝達概念図

(2) せん断伝達に関する検討

図-9は、鉄筋ひずみの実測値から鉄筋に作用している曲げモーメントを算定し、その分布を示したものである。曲げモーメントは、せん断面から1~2D程度離れた位置で最大になっていることが認められる。また、この作用曲げモーメントは、せん断面から5D以上離れると値がほぼゼロになっていることから、きわめてせん断面に近い領域のみに集中している。

次に、棒部材の場合、作用せん断力 Q_x と曲げモーメント M_x との間に $Q_x = d M_x / d X$ の関係が成り立つことから、せん断面で鉄筋に作用しているせん断力 Q_s を算定し検討を行う。図-10は、作用せん断力 Q に対する Q_s の分担率の変化を示したものである。ここで、縦軸は、鉄筋のせん断力分担率 Q_s / Q とした。また、横軸は、せん断降伏耐力時のせん断力 Q_{sy} に対して作用せん断力 Q を無次元化して3試験体を同一の図に表した。鉄筋に作用しているせん断力 Q_s は、せん断面がはだ割れ以降値を大きくし、鉄筋が降伏を開始するせん断曲げ降伏耐力時でみると Q_s / Q が0.5程度になっている。また、せん断降伏耐力時 ($Q / Q_{sy} = 1.0$) には Q_s / Q が0.7から0.8と、作用せん断力の70から80%を鉄筋が分担していることになる。このように、作用せん断力が大きくなると、鉄筋で分担するせん断力が大きくなるが、コンクリート面でもせん断力を負担していることを意味する。

図-11は、コンクリート面で負担するせん断力 Q_c も含めて示したものである。実験では鉄筋比をパラメータとしたが、鉄筋比にかかわらず、ほぼ同様の傾向を示している。ここで、コンク

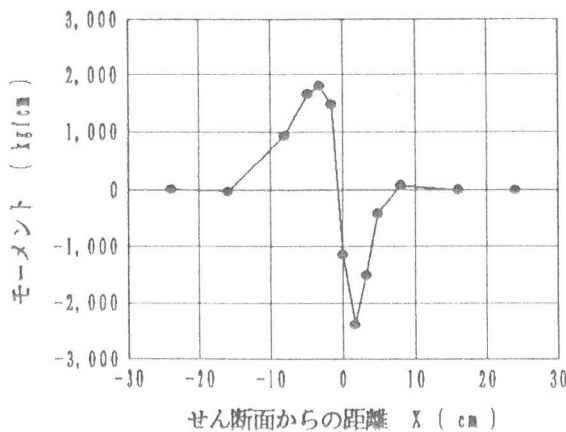


図-9 鉄筋の作用モーメント分布

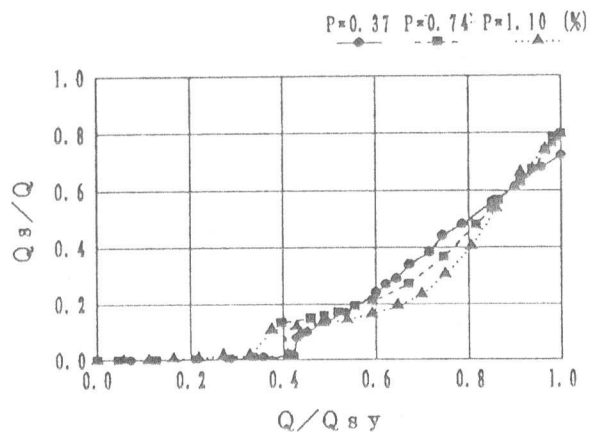


図-10 鉄筋のせん断力分担率

リートで負担するせん断力 Q_c をみると、 $Q/Q_{sy}=0.8$ 以下のせん断面でのズレ変位量がそれほど大きくなりえない範囲では Q_c/Q が0.5以上と、鉄筋の分担率を上回っている。これは、接合面がコンクリートであれば、その面が平滑であっても、初めから鉄筋のダボ効果のみでせん断力が抵抗されるのではなく、コンクリート面での摩擦によりかなりの割合でせん断力が負担されていることを示唆している。

次に、せん断面でのみかけ上の摩擦係数 μ_c について検討を行う。コンクリート面で負担する Q_c とコンクリート面での圧縮力 N_c の間には、 $Q_c = \mu_c \cdot N_c$ の関係が成り立つ。図-12は、せん断面における軸ひずみの実験結果から算定し、摩擦係数 μ_c の変化を示したものである。 μ_c は、作用せん断力 Q が大きくなると小さくなり、せん断降伏耐力時には0.4から0.8の間になっている。ここで、作用せん断力 Q が小さいレベルで摩擦係数が1.5を上回る大きな値となっているのは、ズレ変位が小さいことに加えて、鉄筋のせん断剛性が寄与していることによると思われる。

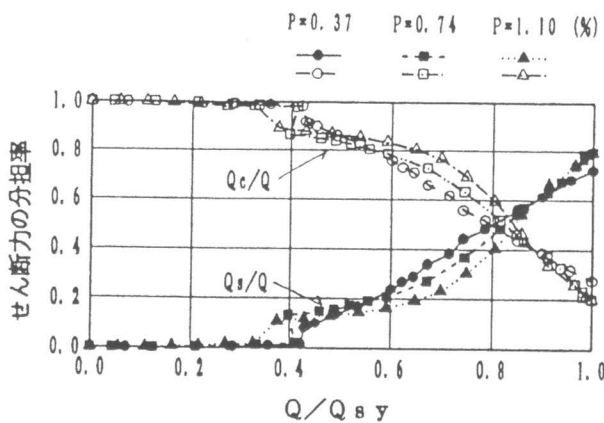


図-11 各成分のせん断力分担率

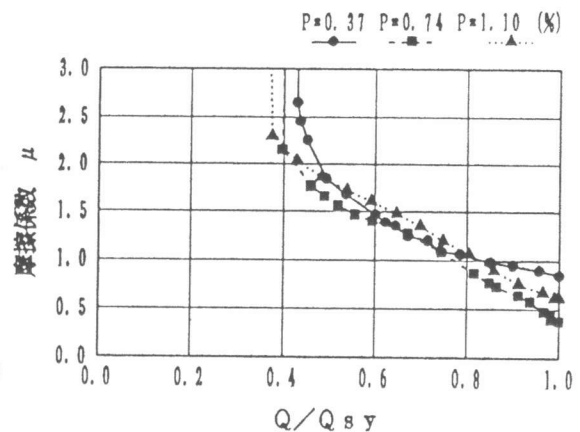


図-12 せん断面のみかけ上の摩擦係数

5. 結論

- (1) 平滑な面に作用するせん断力は、コンクリート面での摩擦力と鉄筋のダボ効果によって伝達される。この両者によるせん断力の分担率は、せん断応力レベルで異なる。
- (2) せん断応力レベルが小さいと、コンクリート面での摩擦力でも大きなせん断力を分担しており、せん断降伏耐力の50%以下のせん断応力では、作用せん断力の50%以上を負担している。
- (3) せん断降伏耐力時には、作用せん断力の70から80%も鉄筋で負担する。この鉄筋での耐力決定は鉄筋の曲げ抵抗に強く影響され、その支配断面はせん断面から1~2D程度離れた位置に存在する。

なお、打継ぎ面のせん断伝達特性は打継ぎ処理によって大きく異なる。今後、打継ぎ面の平滑度を上げた試験等を実施し、打継ぎ処理がせん断伝達特性に及ぼす影響を検討する予定である。

【参考文献】 [1]山田・青柳；ひびわれ面におけるせん断伝達，第2回RC構造のせん断問題に対する解析的研究，JCI，pp. 19-26，1983年10月 [2]鈴木・中村・堀内・尾坂；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/V-14，pp. 159-186，1991年2月 [3]三島・鈴木・篠田・前川；ひびわれ面で軸変形とズレ変形を同時に受ける軸方向鉄筋の非弾性挙動に関する研究，第14回コンクリート工学年次講演会論文集，1992年。