

論文

[2080] 平滑な面における鉄筋のせん断伝達機構に関する研究

篠田佳男*1・大野琢海*2・田中伯明*3・鈴木顕彰*4

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造においてひびわれ面や打継ぎ面に作用するせん断力は、せん断面の凹凸による摩擦、鉄筋とせん断面との角度から生じる鉄筋の分力、及び鉄筋のダボ効果により伝達される。これが平滑面で、鉄筋がせん断面と直交する部分でのせん断伝達は、鉄筋のダボ効果に期待することとなり、既往にも多くの研究成果が報告されている。例えば、Pauleyら[1]は、ダボ効果を鉄筋の曲げ、せん断、及びkinkingの3形態に分類し、それぞれに対して検討を加えている。また、Dalacska[2]は、鉄筋の曲げを重視したモデル化に基づいた耐力算定式を示している。しかし、既往の研究は、実験的な取り組みにおいて比較的細径の鉄筋で実施されており、太径の鉄筋への適用性に関しては問題が残されている。とりわけ、最近の構造物の大型化を考えると、さらに太径の鉄筋に関する情報を蓄積する必要がある。

本研究は、このような背景を考慮し、一連の一面せん断実験によりデータを収集し、平滑な面におけるせん断伝達機構を明確にし、評価方法の確立を目的としたものである。なお、本報告は、鉄筋の抵抗機構を実験結果に基づいて検討を加えたものである。

2. 実験概要

2. 1 試験体

実験に使用した試験体一覧は、表-1に示すとおりである。本実験は、平滑な面におけるせん断伝達を詳細に把握することを主眼としており、先打部分の表面を化粧合板による型枠面として表面の平滑度を確保した。また、せん断面は、平滑な面を有する先打部分に後打部分のコンクリートを直接を打設したものと、間に0.01mm厚さのテフロンシート間にシリコングリスを塗布することによりコンクリートの摩擦を除去し、鉄筋のダボ効果のみで伝達されるせん断力の評価するものと分けた。試験体の配筋は、使用鉄筋の径をD25とD32とし、鉄筋比がほぼ同一となるように鉄筋の本数を決定した。

表-1 試験体一覧

これは、鉄筋の径によるせん断伝達の影響を把握することに着目したことによる。

なお、コンクリート強度は、試験体と同一の養生条件とした標準供試体から得られたものである。

試験体	打継部	鉄筋径	本数 (本)	鉄筋比 (%)	コンクリート強度 (kgf/cm ²)		
					先打部分	後打部分	
1	D25C	コンクリート面	D25	6	1.41	286	245
2	D25NF	テフロン面	D25	6	1.41	314	318
3	D32C	コンクリート面	D32	4	1.47	313	299
4	D32NF	テフロン面	D32	4	1.47	313	320

* 1 前田建設工業(株) 技術本部技術研究所土木構造研究室副室長(正会員)

* 2 前田建設工業(株) 土木設計本部土木設計第二部

* 3 前田建設工業(株) 土木設計本部土木設計第一部(正会員)

* 4 前田建設工業(株) 技術本部技術研究所土木施工研究室、工修(正会員)

実験に使用した試験体は、図-1に示すように、打継ぎ面が60x36cmで、先打部分及び後打部分ともに高さが80cmの形状寸法を有するものである。打継ぎ面を貫通する鉄筋は20D以上の定着長を確保し、打継ぎ面でのズレ変形が生じて、鉄筋の定着長に影響を受けないように配慮した。なお、試験体への载荷は、Push-off型の一面せん断試験法とし、打継ぎ面に直接せん断力を作用させた。

なお、鉄筋は表-2に示す機械的性質のものを、またコンクリートは表-3に示す配合のものを使用した。

2. 2 測定項目

鉄筋は、溝切り加工（幅:5mm, 深さ:5mm）を施した鉄筋を使用し、鉄筋の付着性状を乱さないようにした。ひずみゲージは、図-2に示すように、鉄筋の中心軸に対して加力側とその反対側に位置するように配置し、ズレ変位に伴う鉄筋の曲げひずみと軸ひずみの両者を検出できるようにした。なお、測定位置は、同一試験体で2本の鉄筋に対して図-3に示すように、せん断面から3D区間は0.5D間隔と密にした。これは、鉄筋ひずみから鉄筋に作用している曲げ、せん断、及び荷重状態を解明することを目的としたことによる。

また、打継ぎ面におけるズレ変位と開口変位もあわせて測定した。測定は、打継ぎ面中央と中央から20cm離れた試験体表面位置とし、裏表計6カ所に高感度型変位計（精度:1/500mm）を使用して行った。

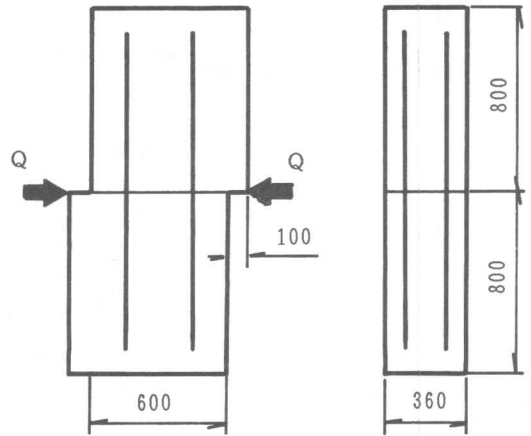


図-1 試験体の形状寸法

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 (kgf/cm ²)
D25	4115	5990	2.04×10 ⁶
D32	3786	6240	2.08×10 ⁶

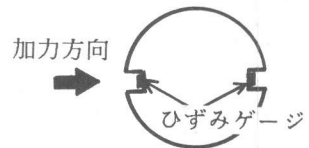


図-2 鉄筋ひずみ測定方法

表-3 コンクリートの配合

骨材の 最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	水セメント比 (%)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単 位 量 (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

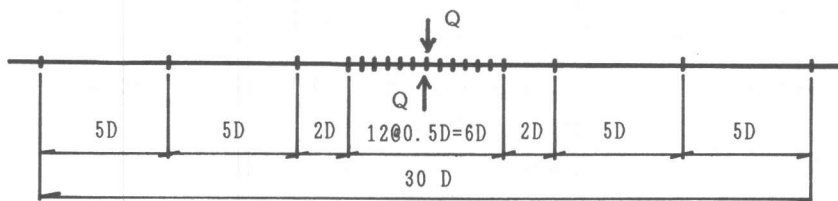


図-3 鉄筋ひずみ測定位置

3. 実験結果

3. 1 打継ぎ面の変位

図-4は、打継ぎ面におけるズレ変位履歴を示したものである。後打部分を先打部分に直接打設した試験体は、載荷開始において打継ぎ面が接着しているため、あるせん断応力の切片からズレ変位を生じている。これに対して、打継ぎ面の摩擦を除去した試験体は、載荷開始とともにズレ変位を生じている。両者を比較すると、初期の切片部分の応力差がそのまま保持され、平滑なコンクリート面においても摩擦抵抗が存在している。また、鉄筋径についてみると、本実験の範囲からは有意な差が認められない。

図-5は、開口変位とズレ変位の関係を示したものである。両者の間には、線形関係がみられる。また、開口変位は、ズレ変位に比べ1/10以下と小さなものである。なお、引張力の作用がない状態で開口変位が生じるのは、値としては小さいものの打継ぎ面位置で鉄筋に軸ひずみが生じており、鉄筋の軸引張力により打継ぎ面が面外変形を生じ、試験体表面において開口変位として測定されたものと考えられる。

3. 2 鉄筋ひずみ

図-6は、0.5mm, 1.0mm, 1.5mm, 2.0mmのズレ変位時における鉄筋ひずみ分布を打継ぎ面の相違による比較を含めて示したものである。鉄筋のひずみは、打継ぎ面から3D以内と極めて小さな領域で大きな値を示している。また、これらの値をみると、同一測定位置において若干引張側が大きいものの、引張と圧縮と逆方向のひずみとなっている。これは、鉄筋には軸引張力が作用しているものの、鉄筋のダボ効果として曲げが支配的となっていることを意味する。しかし、打継ぎ面位置における軸ひずみは、2.0mmのズレ変位時でも、 $300\sim 600 \times 10^{-6}$ と小さな値を示しており、軸引張力としてはそれほど大きな値とはなっていない。

次に、打継ぎ面の相違をみると、同一のズレ変位量であれば両者の間で同一のひずみとなっており、ズレ変位とともに最大ひずみが増大している。例えば、1.0mmのズレ変位量でみると、引張側で 2000×10^{-6} 、圧縮側で 1500×10^{-6} と鉄筋の降伏あるいはそれに近いひずみとなっている。また、2.0mmのズレ変位量でみると、圧縮、引張共 3000×10^{-6} に近いか、あるいはそれを超える大ひずみとなっている。これは、鉄筋のダボ効果がズレ変位と密接な関係にあることを示唆している。また、ひずみの最大を示す支配断面は、打継ぎ面から1.5Dの位置に存在していることも認められる。

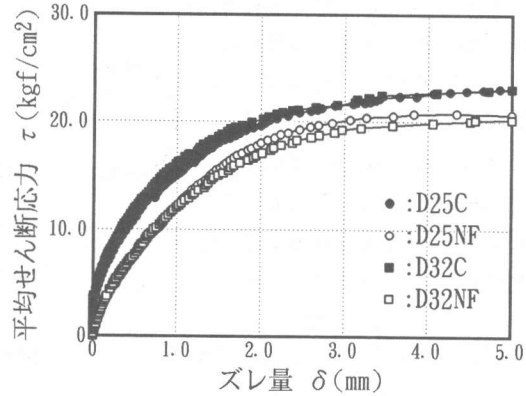


図-4 打継ぎ面におけるズレ変位履歴

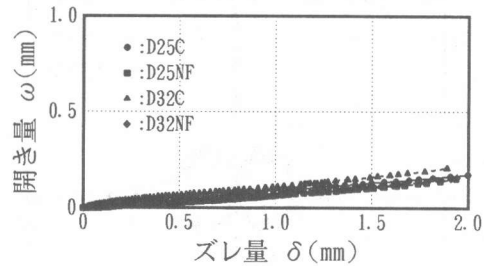


図-5 開口変位とズレ変位の関係

4. 実験結果の検討

4. 1 鉄筋の抵抗機構

鉄筋は、打継ぎ面のズレ変位量が大きくなると、図-7に示すひずみ分布となり、曲げの応力成分が縁降伏とともに降伏領域が断面内部へ進行していく。このような状態を、曲げ成分と軸力成分に分けると、(b)、(c)のように表される。また、鉄筋に作用している曲げモーメント $M_{s,x}$ は、

$$M_{s,x} = 2 \int_0^{D/2} \sigma_{sx} \cdot y \, dA$$

として算定される。

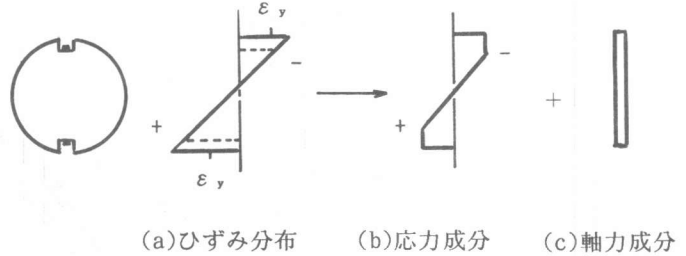


図-7 鉄筋断面内のひずみ及び応力成分

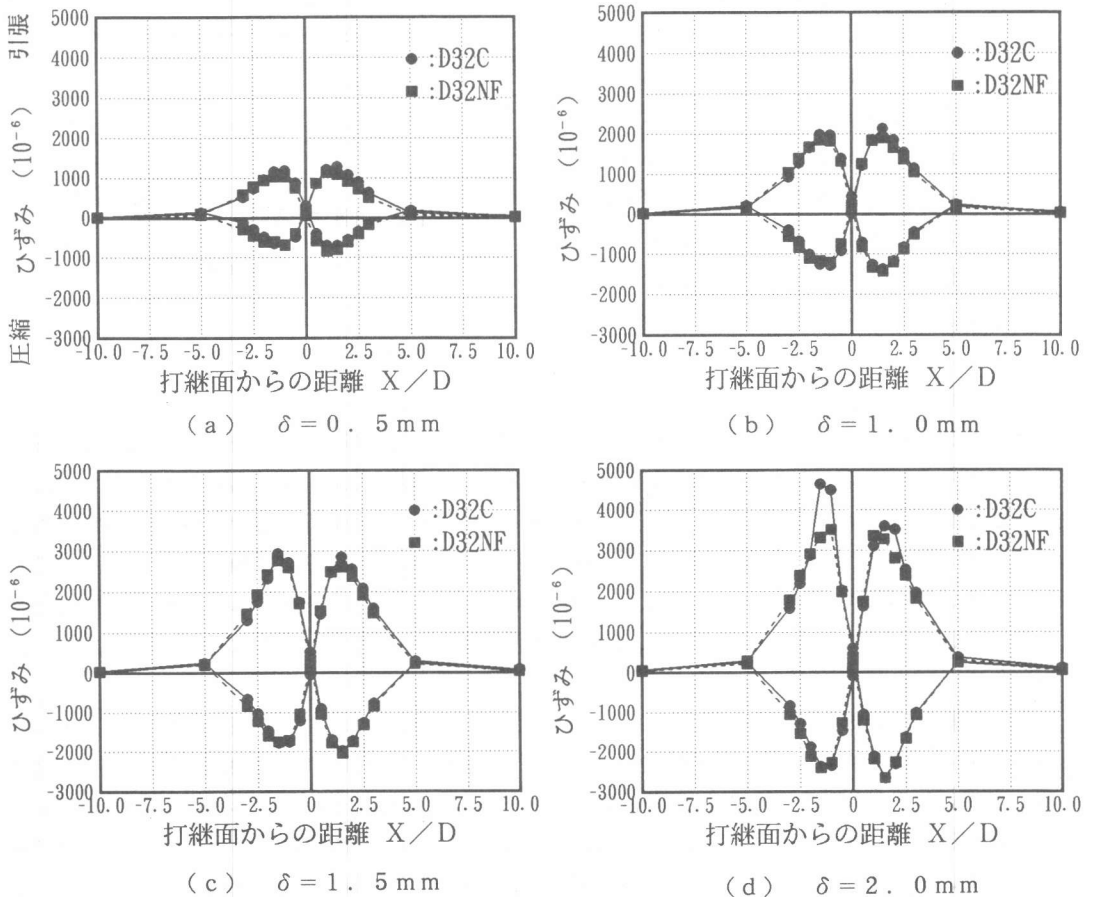


図-6 鉄筋のひずみ分布

図-8は、実測ひずみから鉄筋に作用している曲げモーメントを算定し、鉄筋軸方向における分布を示したものである。鉄筋に作用している曲げモーメントは、ズレ変位量とともに値を大きくし、ズレ変位が2mmでは、鉄筋の全塑性モーメント M_{ps} とほぼ一致している。これは、打継ぎ面における摩擦の有無に関わらず同様なことがいえる。

このように平滑な打継ぎ面においては軸引張力の影響が小さく、鉄筋は曲げで作用せん断力に抵抗し、耐力は鉄筋の全塑性モーメントで決定されるといえる。

4. 2 鉄筋の作用荷重

鉄筋を棒部材と考えると、作用せん断力 Q_x と曲げモーメント M_x の間には $Q_x = dM_x / dx$ の関係が、また作用荷重 ω_x と作用せん断力 Q_x の間には $\omega_x = dQ_x / dx$ の関係が成り立つ。これらについては、D32で得られた結果について以下に示す。図-9は、作用せん断力分布を示したものである。作用せん断力は、極めて打継ぎ面に近い位置のみで大きな値となっていることが認められる。また、支配断面となる打継ぎ面から1.5Dの位置では、せん断力の値が小さく、耐荷機構としてせん断力の影響を受けていないといえる。

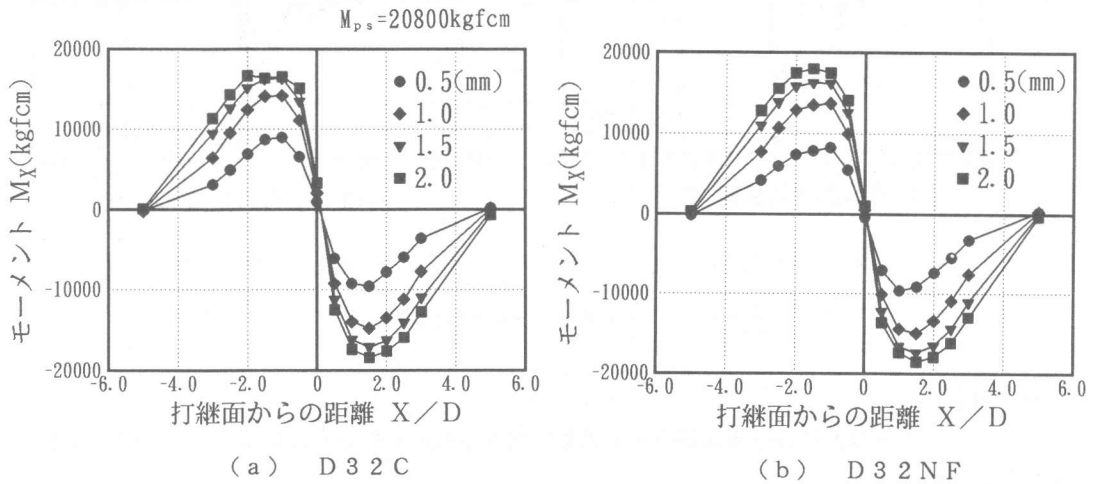


図-8 曲げモーメント分布

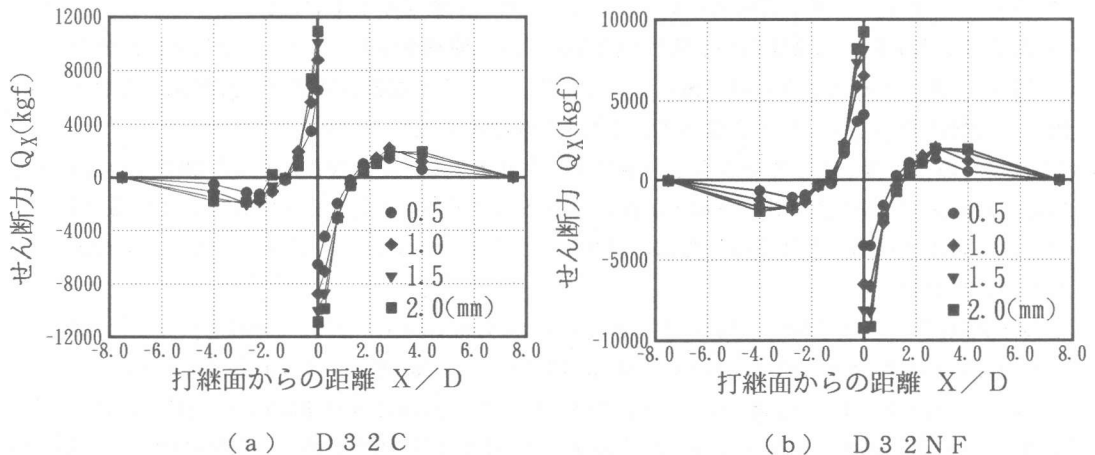


図-9 せん断力分布

図-10は、作用荷重としてコンクリートの応力(ω_x/D)分布の推定値を示したものである。コンクリートの応力は、打継ぎ面から0.5Dや1.0Dと打継ぎ面近傍で最大となり、1500kgf/cm²程度と一軸圧縮強度の4~5倍に相当する値となっている。コンクリートがこのような応力状態を健全な状態で保っているとは考えられず、局部的にみるとコンクリートの圧壊現象を生じており、また圧壊が起こっても打継ぎ面及び周囲の健全なコンクリートで拘束されることで高応力状態を保持しているものと推定される。これは、鉄筋が軸引張力を受け鉄筋の周囲に内部ひびわれが存在したり、かぶりが小さくなると、拘束力が低下し、鈴木ら[3]が指摘しているように、鉄筋で伝達されるせん断力が低下することをも示唆している。

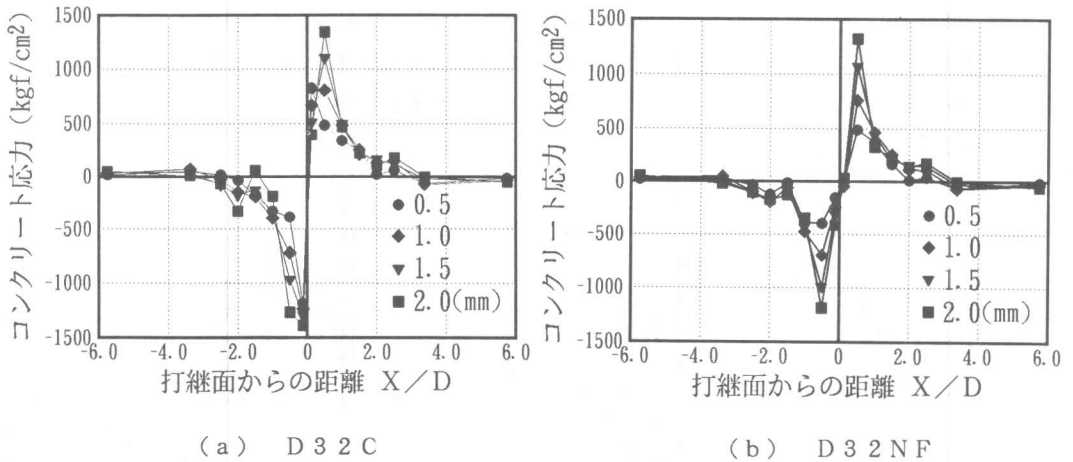


図-10 コンクリートの応力分布

5. 結論

本研究は、平滑な面における鉄筋のダボ効果に関する抵抗機構を実験的に検討を行い、以下に示す結論を得た。

(1)打継ぎ面が平滑でも、コンクリート間には摩擦抵抗が存在し、摩擦により伝達されるせん断力は、初期から相対ズレ変位が2.0mmに至るまでほぼ同一の値を示していた。

(2)鉄筋は、軸引張力も受けるが、曲げが支配的な抵抗機構を示し、2.0mmの相対ズレ変位時には鉄筋の全塑性モーメントに近い値となっている。このような抵抗機構は、打継ぎ面における摩擦力の有無に関わらず、同一となっていることが確認された。

(3)鉄筋への作用荷重としてコンクリートの応力を算定すると、打継ぎ面から0.5Dあるいは1.0Dと打継ぎ面近傍に1500kgf/cm²と一軸圧縮強度の4~5倍に相当する局部応力が存在していると推定された。このような高応力状態は、内部の健全なコンクリートによって周囲が拘束された結果生じたものと思われる。

□参考文献□ [1]Pauley, T., Park, R., and Phillips, M. H.: Horizontal Construction Joint in Cast-in-Place Reinforced Concrete, ACI, SP-27, PP. 599-616, 1974 [2]Dalacska, H.: Dowel Action of Reinforced Crossing Cracks in Concrete, ACI Journal, vol. 69, No. 12, pp754-757, 1972 [3]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, pp159-186, 1991年2月