

[102] 定着長さ・コンクリート強度が局部付着応力一すべり関係に及ぼす影響

正会員 ○山尾 芳秀 (日本大学大学院)

正会員 周 礼良 (東京大学大学院)

正会員 岡村 甫 (東京大学工学部)

1. はじめに

近年、鉄筋コンクリート橋脚の復元力特性に関する実験的研究が行なわれているが、この中で、大きな水平力を受ける場合には、主鉄筋のフーチングからの抜け出しが、橋脚天端の水平変位に対して大きな影響を与えることが明らかにされている。しかし、これらの研究の範囲では十分評価するまでには至っていない。これを定量的に評価するには、マッシュなフーチング内における鉄筋とコンクリートとの間の局部的応力一すべりの関係を明らかにすることが必要となる。局部付着応力とすべりとの関係は、コンクリート強度、鉄筋の付着特性・鉄筋直径、鉄筋自由端におけるすべりの有無、荷重端からの距離等によって大きく異なると考えられる。従来の研究では、異形鉄筋のフシが2個程度と付着長が短い場合の実験を行い、その自由端すべりを測定して、局部付着応力一すべり関係を求めていることが多かった。しかし、実際の橋脚を見ると、主鉄筋は非常にマッシュなフーチングに十分定着されており、局部付着応力一すべりのメカニズムは、これらの実験結果とは異っていると思われる。なお、解析は参考文献2)に示す通りである。

このようなことから、本研究では実際の橋脚の主鉄筋の局部付着応力一すべりとの関係をできる限り忠実に実験的に求めるために、マッシュなコンクリートに十分な定着長を有する鉄筋を埋込んで、自由端ですべりの生じない状態で実験を行った。そのうち、本研究結果と従来の研究結果を比較し定着長が局部付着応力一すべり関係に及ぼす影響について検討した。さらに、コンクリート強度を変化させた実験を行ない、コンクリート強度が局部付着応力一すべり関係に及ぼす影響についても検討した。

2. 実験の概要

2.1 供試体

供試体は直径50 cm、高さ50～150 cmのマッシュな円筒形の無筋コンクリートの中心に鉄筋を、鉛直方向に埋込んだものである。それらの形状を図-1に示す。コンクリートは、粗骨材最大寸法を25 mmとして配合を行った。これらのスランブ及び圧縮強度は表-1に示す通りであった。コンクリートの打設は、鉛直方向打込とし、供試体内部においてコンクリートの材質が均一になるように供試体の定着長に応じて5～10層に分割して、棒状バイブレータを用いて締め固めを行った。なお、コンクリート硬化後は、実験室において温潤養生を行った。

鉄筋は直径 $D=25$ mmのねじふし鉄筋を用いた。これらの形状寸法は表-2に示す通りである。このねじふし鉄筋は、ふしの形状が良く管理されたものであり、付着試験用として適切な鉄筋である。さらに、この鉄筋はリブがなく、その部分にひずみゲージを直接貼付することが出来るため、鉄筋本来の付着特性をほとんど変化させない状態でひずみの測定が出来るものである。

表-1 実験の要因の組合せおよび試験結果

供試体 No.	鉄筋径 (D)	定着長さ (×D)	コンクリート強度 (f_c) kg/cm ²	スランブ (cm)	鉄筋の種類
A-5	25	24	180	14.0	焼入れ鉄筋
A-6	25	25	425	6.5	焼入れ鉄筋
A-7	25	50	160	11.2	焼入れ鉄筋
AU-8	25	40	188	10.7	焼入れ鉄筋
AU-9	25	25	303	7.8	焼入れ鉄筋
AU-10	25	25	188	10.7	焼入れ鉄筋
AU-11	25	10	190	10.7	焼入れ鉄筋
AU-12	25	10	303	7.8	焼入れ鉄筋
AU-13	25	25	322	7.5	焼入れ鉄筋
AU-14	25	25	190	10.7	普通鉄筋
AU-15	25	25	319	7.5	普通鉄筋

備考 Aシリーズ : 埋込み長さ全長にわたり付着している
AUシリーズ : 荷重端面から10Dの区間付着を取ったもの

これらの鉄筋は、さらに高周波焼入れを行って降伏点を高めてある。これは、荷重端で大きい荷重を加えることを可能とし、コンクリート内部深くまでの、局部付着応力—すべり関係が求められるように考慮したためである。

鉄筋の定着長さは、自由端にすべりを生じない場合(50D)を基本として、それよりも短いものを適宜加え、現在まで多く求められている自由端にすべりを生じる場合の局部付着応力—すべり関係との相違を検討できるように配慮した。これらの実験の要因の組合せを表-1に示す。

2.2 荷重装置及び方法

荷重装置は、図-1に示すようにジャッキ、球座、載荷プレート及び載荷リングから構成されている。この載荷プレートを用いることによって、供試体へのジャッキの取り付けが容易となり、載荷精度も向上した。また、球座によって鉄筋に加わる曲げの影響を大幅に減少できた。載荷リングの直径はできるだけ大きくするのが好ましいため、本実験では40cm(16D、D:鉄筋径)とした。図のようにセンターホールジャッキおよびセンターホールロードセル等を順次載荷プレートの上に乗せ、反力プレートを取り付けてボルト締めした後に載荷を開始した。荷重は図-2に示すように、原則として荷重端または非付着区間に貼付したひずみゲージから測定されるひずみにより制御し、片側引抜き試験を行った。

2.3 ひずみとすべりの測定

ひずみゲージの鉄筋への貼付は、繰返し載荷であることを考慮して、遅延型の接着剤を用いて行った。測定点はほぼ5Dの間隔で鉄筋の埋込み区間全長に設けた。また測定は、載荷時および除荷時ともに荷重端部のひずみの値で250μごとにを行った。

任意の位置での鉄筋のひずみを積分するとすべり量が、またひずみを微分すると局部付着応力がそれぞれ得られる。したがって、鉄筋に沿って測定したひずみにより、局部付着応力—ひずみ—すべり関係を求めることができる。また荷重端の引抜け量は、荷重端でのすべり量の計算値と一致せねばならない。したがって、引抜け量の測定値とすべり量の計算値を比較することにより、測定データの検証を行った。

荷重端側および自由端側のすべり量の測定は、 $1/1000$ mmの精度の水平変位計を用いて行った。自由端側の測定装置は図-1に示す通りであり、荷重端側の装置は外側にガイドを取り付けて鉄筋とコンクリートの相対変位量を測定した。

3. 実験結果

3.1 コンクリート強度の局部付着応力—すべり関係に及ぼす影響

実験結果の一例として図-3にひずみ分布曲線を示し、図-4に局部付着応力—すべり関係を示した。図-3の全測定データを結ぶ点線は、それぞれ隣接した3点を通る2次曲線を組み合わせと得られたものである。

表-2 ねじふし鉄筋の形状寸法

鉄筋形	D (mm)	25
鉄筋の外径	ϕ_o (mm)	28.2
鉄筋の内径	ϕ_i (mm)	24.8
鉄筋の断面積	U (cm ²)	5.07
ふしの間隔	l_n (mm)	13.9
ふしの純間隔	l_o (mm)	7.5
ふしの高さ	h (mm)	1.7
ふしの有効高さ	h_e (mm)	1.7
ふし数/100cm	n	36
支圧面積係数	BA (%)	8.8
せん断面積係数	SA (%)	3.9

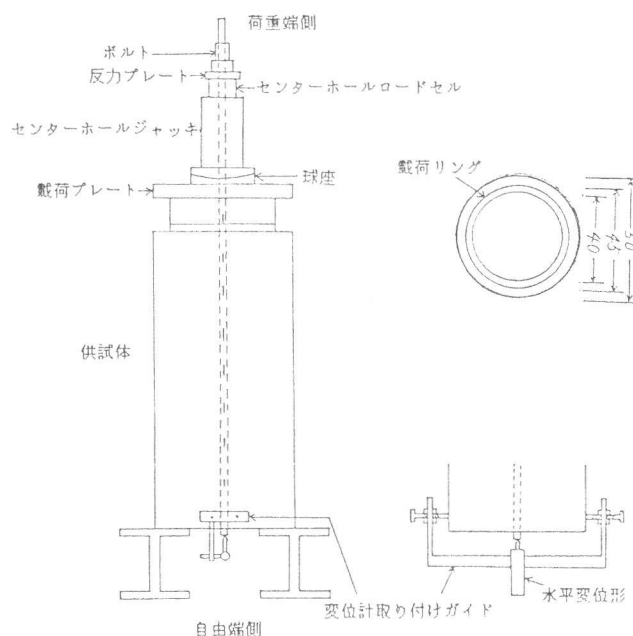


図-1 載荷装置および供試体形状

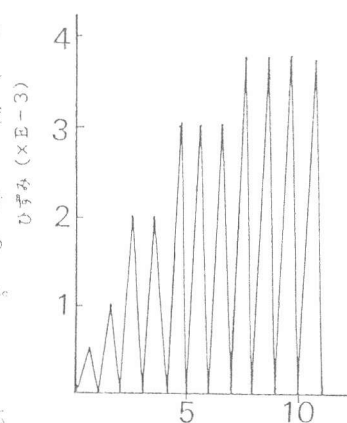


図-2 繰返しによる載荷方法

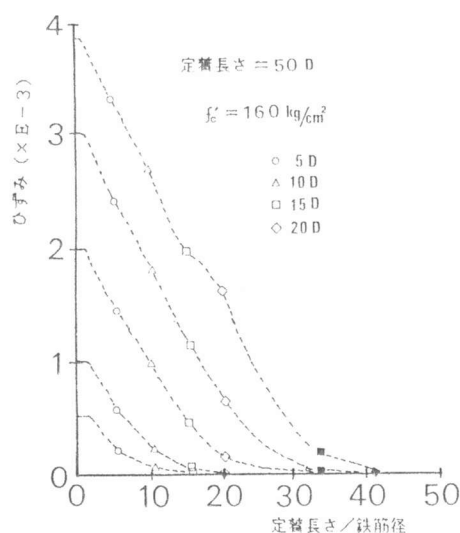


図-3 ひずみ分布曲線

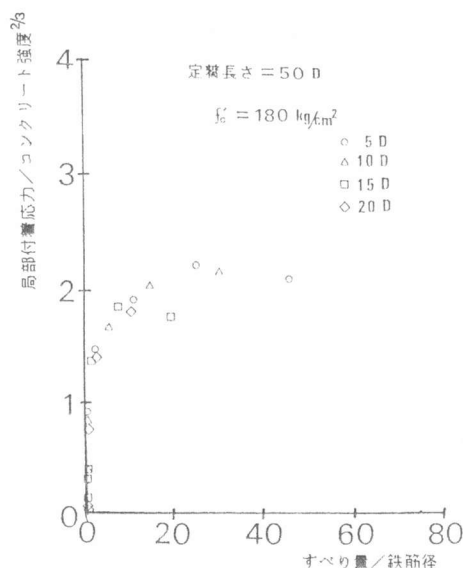


図-4 局部付着応力-すべり関係

なお、図-4は図-3より求めた曲線を微分することにより算出したものである。

実験結果より、コンクリート強度が最大付着応力に及ぼす影響が大きいことが認められた。そこで、ACIにならってデータをコンクリート強度の $\frac{2}{3}$ 乗で整理してみたが、バラツキが大きいことが認められた。そこで、最大付着応力はコンクリート強度の $\frac{2}{3}$ 乗に比例すると仮定して今回の実験結果を整理するとバラツキが少なく、最大付着応力に及ぼすコンクリート強度の影響を評価できることが明らかとなった。図-5は局部付着応力をコンクリート強度の $\frac{2}{3}$ 乗で除して無次元化し、局部付着応力-すべり関係を示したものである。この図から(最大付着応力/コンクリート強度の $\frac{2}{3}$ 乗)の値には、上限の存在することが認められる。すなわち、最大付着応力はコンクリート強度の $\frac{2}{3}$ 乗に比例すると言える。さらに図-5におけるデータのバラツキについて考察すると、付着

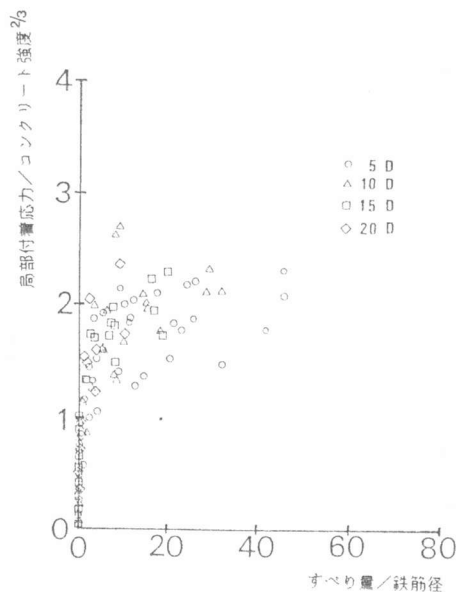


図-5 局部付着応力-すべり関係

応力が低目にバラツキしているデータは、荷重端面から主として5 D付近のデータに対応している。これは荷重端部では漏斗状のひびわれの進展により局部付着応力が大幅に低下するためと考えられる。

3.2 定着長の局部付着応力-すべり関係に及ぼす影響

森田、角の研究によると、定着長さが約3 Dで $f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2$ の場合は、最大付着応力が 170 kg/cm^2 である。しかし、今回行った実験では、定着長さが25 Dで $f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2$ の場合は、各位置での最大付着応力が、5 Dの位置で 70 kg/cm^2 、10 Dの位置で 81 kg/cm^2 、15 Dの位置で 90 kg/cm^2 、20 Dの位置で 104 kg/cm^2 となっており、平均最大付着応力は 86.3 kg/cm^2 であった。これらの結果より、定着長さの長い場合には最大付着応力が小さくなっていることがわかる。図-6および図-7には、定着長さが局部付着応力-すべり関係に及ぼす影響を示した。図-6は $f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2$ で、定着長さが50 Dと24 Dの場合を比較したものであるが、それぞれの場合においてほぼ同様の傾向を示している。最終すべり量はいずれの位置においても、50 Dの場合が24 Dの場合よりも大きい傾向が見られる。

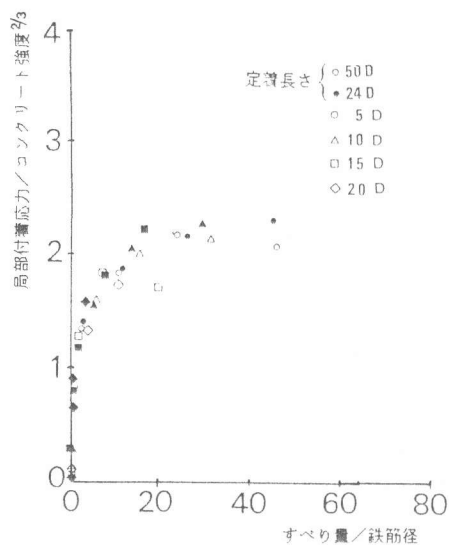


図-6 局部付着応力-すべり関係

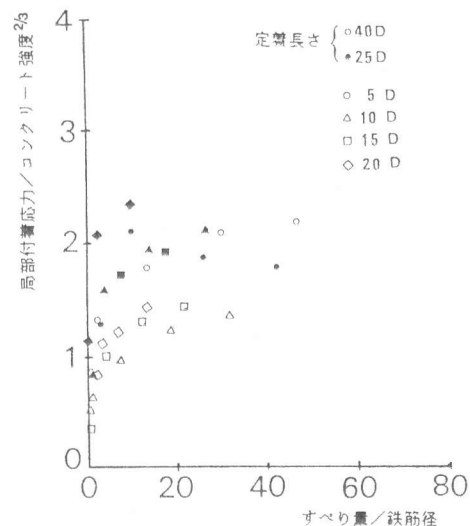


図-7 局部付着応力-すべり関係

図-7は、コンクリート強度が 200 kg/cm^2 で荷重端より10Dの非付着区間を有するものについて、定着長さが40Dの場合を比較したものである。ただし、この回のひずみゲージの位置は非付着区間の下側からの位置である。5Dの位置をのぞいた位置では、ほぼ同様な傾向を示している。しかし、5Dの位置では定着長さの短い25Dの場合に他とは異なりピークを過ぎて減少する傾向を示している。5D以外においては、定着長さの短い場合は、いずれも最大付着応力が40Dの場合よりもかなり大きな値を示している。これは、定着長さが25Dの場合では、定着長さが短いため、自由端側にすべりを生じるためと思われる。

実験終了後、供試体を鉄筋に沿って割裂させ、内部のひびわれ状況を観察した。この結果、荷重端側に発生したひびわれと鉄筋とまじわる深さは、定着長さが長いほど、またコンクリート強度が高いほど深く、その幅も広がっていることがわかった。

4. まとめ

コンクリート強度および定着長さが局部付着応力-すべり関係に及ぼす影響を検討した結果、本研究の範囲内で次のようなことが言える。

- 1) コンクリート強度が局部付着応力-すべり関係に及ぼす影響については、 $\tau_{max}/f_c^{2/3}$ の値に上限が存在することから、 τ_{max} が $f_c^{2/3}$ に比例するとも言える。
- 2) 定着長さが局部付着応力-すべり関係に及ぼす影響は大きく、定着長さの長い場合の付着応力は、定着長さの短い場合と比べて小さな値を示している。この傾向は、いずれの測点においても、おおむね認められた。

＜謝辞＞ 本研究は、昭和57年度文部省科学研究費補助金（課題番号 56460123）を受けて行われたものである。

本研究に対して、財団法人鹿島学術振興財団外国人研究者受入れの援助をいただきました。

＜参考文献＞

- 1) 森田 司郎, 角 徹三, 繰返し荷重下における鉄筋とコンクリート間の付着特性に関する研究, 日本建築学会論文報告集, 昭和50年3月
- 2) 周礼良, 山尾芳秀, 岡村甫, 定着長が長い場合の局部付着応力-すべり関係について, 第5回コンクリート工学年次講演会講演論文集, 昭和58年6月