

論文

[2033] RC 部材における主筋のダボ作用を考慮した付着特性に関する基礎実験

正会員 ○小 林 克 巳 (福井大学工学部)
 福 田 萬 (福井大学工学部)
 竹 内 雅 人 (東京工業大学大学院)

1. 目 的

主筋の付着性状が復元力特性や破壊性状に大きな影響を及ぼすことが知られており、引抜きあるいは両引き試験などから付着応力度(τ)~すべり(S)関係を規定して部材解析を行っている場合が多い。はりのせん断破壊時に見られるように、ダボ作用により主筋に沿う割れが生じると付着性状は大きく変化すると考えられ、ダボ作用との相関で τ ~ S 関係を把握する必要がある。本研究では、はり主筋を対象として、引抜き力と同時にダボせん断力を作用させる実験を行い、 τ ~ S 関係に及ぼすダボせん断力の影響を明らかにすることを目的とする。

2. 試験体

図 1 に示すように斜めひび割れが主筋を横切る位置で主筋がダボせん断力と引抜き力を受ける部分を取り出し、部分模型試験体を製作した。表 1 に試験体一覧を示す。図 2 に試験体配筋図の一例を示す。溝切り加工した主筋(D19)の断面積は、2.40~2.42 cm^2 であった。なお、付着応力度の計算には公称周長をそのまま用いた。試験体製作については、4 ϕ ・6 ϕ の横補強筋を主

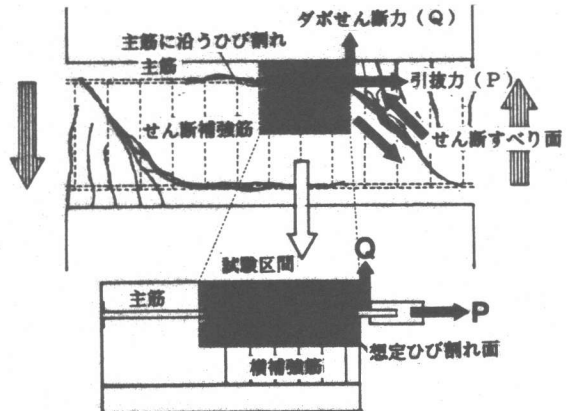


図 1 試験体のモデル化

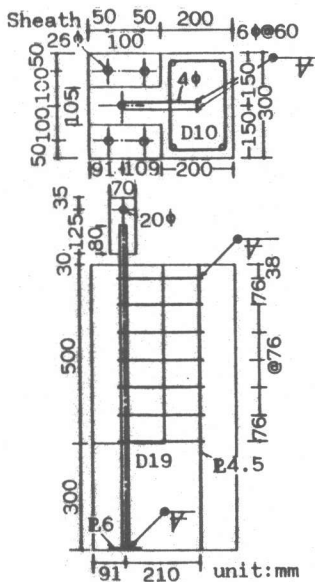


図 2 試験体配筋の例

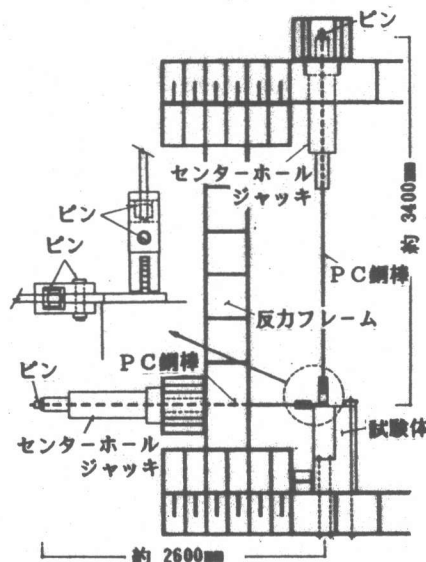


図 3 加力装置

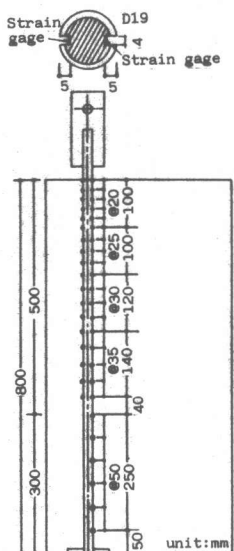


図 4 主筋の歪測定位置

表 1 試験体一覧

| 試験体名 | 荷重比率 P:Q | 主筋 | 横補強筋 径 | 横補強筋 間隔 | 1本めの横 補強筋位置 | コンクリート 強度 |
|-------|-------------|-----|-----------|------------|----------------|--------------------------------|
| B43D | 4:1 | D19 | 4φ | 3d | 2d | 圧縮強度 300kg/cm ² |
| B44D | 4:1 | D19 | 4φ | 4d | 2d | 割裂引張強度 26kg/cm ² |
| B45D | 4:1 | D19 | 4φ | 5d | 2d | 圧縮強度 300kg/cm ² |
| U44D | 4:0 | D19 | 4φ | 4d | 2d | 割裂引張強度 26kg/cm ² |
| B63D | 4:1 | D19 | 6φ | 3d | 2d | 圧縮強度 275kg/cm ² |
| B64D | 4:1 | D19 | 6φ | 4d | 2d | 割裂引張強度 24kg/cm ² |
| B65D | 4:1 | D19 | 6φ | 5d | 2d | 圧縮強度 275kg/cm ² |
| U64D | 4:0 | D19 | 6φ | 4d | 2d | 割裂引張強度 24kg/cm ² |
| T44D | 4:0.75 | D19 | 4φ | 4d | 2d | 圧縮強度 275kg/cm ² |
| H44D | 4:0.50 | D19 | 4φ | 4d | 2d | 割裂引張強度 24kg/cm ² |
| Q44D | 4:0.25 | D19 | 4φ | 4d | 2d | 圧縮強度 275kg/cm ² |
| V44D | 4:0 | D19 | 4φ | 4d | 2d | 割裂引張強度 22kg/cm ² |
| T440D | 4:0.75 | D19 | 4φ | 4d | 0d | 圧縮強度 275kg/cm ² |
| T441D | 4:0.75 | D19 | 4φ | 4d | 1d | 割裂引張強度 22kg/cm ² |
| T442D | 4:0.75 | D19 | 4φ | 4d | 2d | 圧縮強度 275kg/cm ² |
| T443D | 4:0.75 | D19 | 4φ | 4d | 3d | 割裂引張強度 22kg/cm ² |

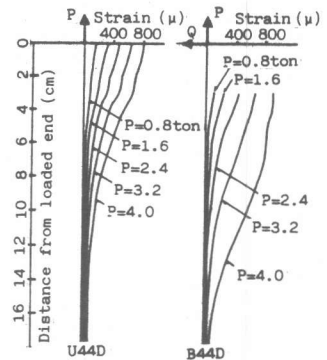


図 5 主筋の歪分布

筋に結束した後、端部をP4.5に溶接した。主筋の自由端には定着プレートを溶接しコンクリートとの相対すべりが生じないようにした。コンクリートは主筋を鉛直に支持し、荷重端側より打設した。鉄筋(D19・4φ・6φ)は、弾性範囲内にあった。コンクリート強度は表1中に示す。

3. 加力・測定方法

図3に示すように主筋端部に溶接したP19を引張って荷重(P)を加え、ダボせん断力(Q)はP19を介して主筋に直接加えた。PとQの比率は一定とし、表1に示すものとした。図4に主筋の歪測定位置を示す。また、主筋に沿うひびわれ幅は、主筋をまたいでコンクリート表面にπゲージを取付けて測定した。

4. ひび割れの発生

PとQを同時に加えた試験体では、P=2.4~2.8tonで主筋に沿うひび割れが発見された。P=約6tonで、横補強筋間隔のおよそ3倍付近まで主筋に沿って進展し、その後左右に分岐することが観察された。また、Pのみ加えたものでは、P=6ton付近でひび割れの発生が観察された。

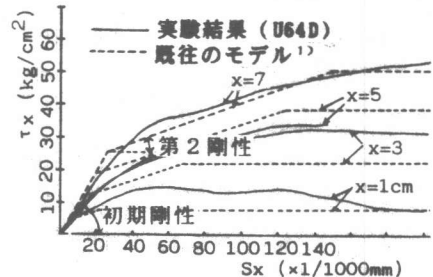


図 6 τ~S関係(U64D)

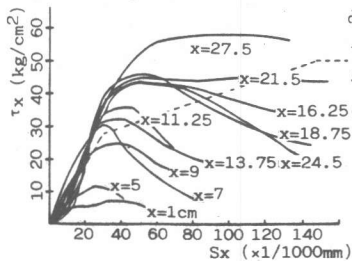


図 7 τ~S関係(B43D)

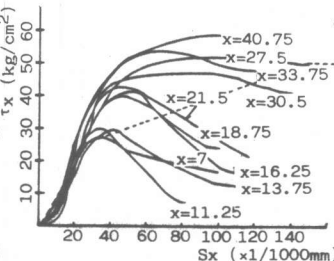


図 8 τ~S関係(B44D)

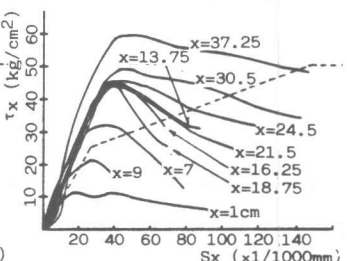


図 9 τ~S関係(B45D)

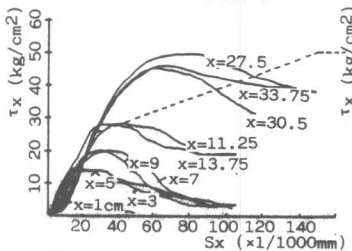


図 10 τ~S関係(B63D)

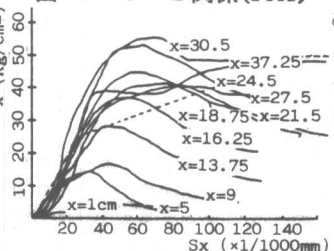


図 11 τ~S関係(B64D)

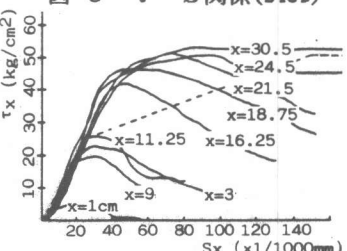


図 12 τ~S関係(B65D)

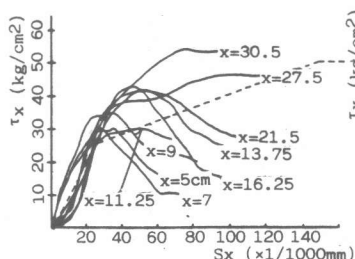


図 13 $\tau \sim S$ 関係(T44D)

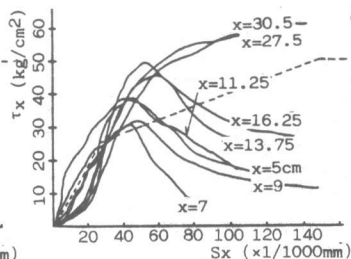


図 14 $\tau \sim S$ 関係(H44D)

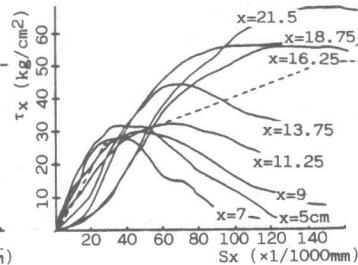


図 15 $\tau \sim S$ 関係(Q44D)

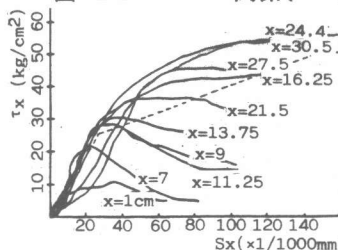


図 16 $\tau \sim S$ 関係(T440D)

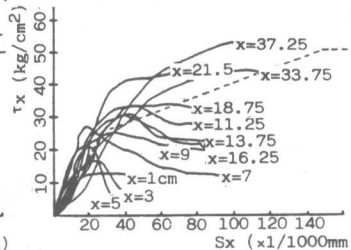


図 17 $\tau \sim S$ 関係(T441D)

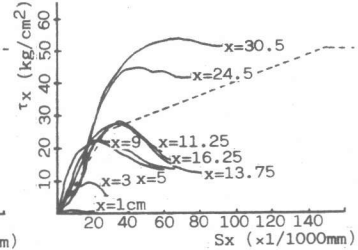


図 18 $\tau \sim S$ 関係(T442D)

5. 主筋の歪分布

図 5 に示した U44D と B44D の主筋の歪分布を比較すると $P=2.4\text{ton}$ あたりまでは両者に顕著な差は見られないが、ダボせん断力によって主筋に沿うひびわれが生じ始めるあたりから、付着劣化を起こす範囲が大きく広がっていき、ダボせん断力が加わっている影響が大きく現れている。

6. 引抜力のみを加えた場合の $\tau \sim S$ 関係

図 6 に P のみを加えた試験体の $\tau \sim S$ 関係を示す。破線は既往のモデル¹⁾で、付着劣化は荷重端(想定ひびわれ面)近傍で生じ、想定ひびわれ面から主筋径の 3~4 倍以上離れると一定の $\tau \sim S$ 関係に収束するとしているものであるが、両者は比較的よく一致している。

7. 引抜き力とダボせん断力を同時に加えた場合の $\tau \sim S$ 関係

P と Q を同時に加えた試験体の $\tau \sim S$ 関係を図 7~図 18 に示す。同一横補強筋間隔内にある点の $\tau \sim S$ 関係は同一になり、最大付着応力度に達した後、その最大付着応力度の大きさに関わらず付着応力が一定量低下し、以後一定の付着応力度を保持する傾向が見られる。なお、横補強筋間隔の 3 倍程度想定ひびわれ面から離れると付着劣化は見られなくなり、ほぼ一定の $\tau \sim S$ 関係となる傾向がある。図中の破線は、図 6 に示した P のみを加えたもので付着劣化の起こらない範囲の $\tau \sim S$ 関係モデルである。 P に対する Q の比率が大きいほど、また 1 本目の横補強筋位置が想定ひびわれ面から離れるものほど第 2 剛性が大きくなる傾向がわかる。すなわち、付着劣化の生じない範囲の $\tau \sim S$ 関係モデルとして既往のモデル¹⁾を使用するとしても、解析対象により、第 2 剛性の大きさを検討する余地があることを示している。

8. $\tau \sim S$ 関係と主筋に沿うひびわれ幅

B44D について 図 19 に示すように、付着応力度が最大となる点は、その位置の主筋に沿うひびわれの発生する時点とよく一致している。なお、横補強筋間隔の 3 倍程度離れるとひびわれの発生と同時に付着劣化を起こさなくなる傾向にある。これらは、他の試験体でも同様であった。

9. 想定ひびわれ面からの距離(x)とその位置での最大付着応力度

図 20 の横軸は想定ひびわれ面からの距離(x)、縦軸は各位置での最大付着応力度を、付着劣化を起こさずほぼ一定の $\tau \sim S$ 関係となった範囲の最大付着応力度の平均で無次元化した値(α)

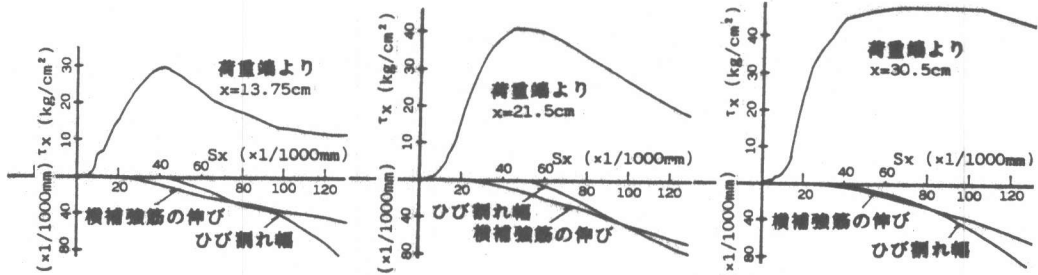


図 19 $\tau \sim S$ 関係とひび割れ幅・横補強筋の伸びの関係

である。実線は、既往のモデル¹⁾による x と α の関係で、主筋径の 3~4倍離れると付着劣化は生じないが、●▲■印で示した P と Q を同時に加えた本実験では、明らかに付着劣化を起こす範囲が広がっていることがわかる。また、同一横補強筋間隔内においては、P と Q の比率が一定ならば、ほぼ同一の最大付着応力度を示し、P に対する Q の比率が大きくなるほど付着劣化が起きる範囲が広いことがわかる。なお、白抜きの記号で示したものは付着劣化が見られなかったものである。

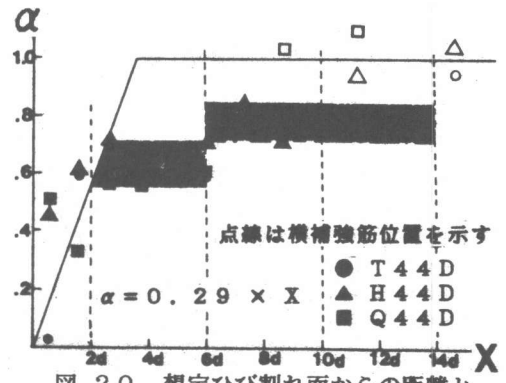


図 20 想定ひび割れ面からの距離と最大付着応力度の関係

10. 付着応力の低下量 ($-\Delta\tau$) とすべり量 (ΔS) の関係

ダボせん断力により主筋に沿うひびわれが生じるとその時点で着応力度は最大となり、付着劣化が生じ付着応力が低下した後、一定の付着応力を保持する傾向があることから、図 21 に付着応力の低下量 ($-\Delta\tau$) とそれに対応するすべり量 (ΔS) の関係を示す。相当のばらつきはあるがプロットした点の平均値を求める付着応力の低下量は 13kg/cm^2 、 $\Delta\tau$ と ΔS の勾配は -4.15ton/cm^3 であった。

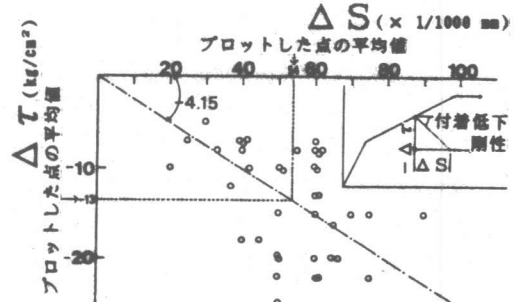


図 21 付着応力の低下量と対応するすべり量の関係

11. まとめ

ダボ作用を考慮した付着特性は主筋に沿うひび割れ発生の影響を最も大きく受けること、単純に引抜かれるものに比べ第2剛性が大きくなる傾向にあることが分った。第2剛性の大きさについては、検討の余地はあるが、大まかには、想定ひびわれ面近傍の付着劣化に加え、ダボせん断力による主筋に沿うひびわれ発生による付着劣化を考えることで、ダボ作用と付着作用の相関はモデル化できると考えられる。

【謝辞】 本研究は、文部省科学研究費補助金 総合研究(A)「鉄筋コンクリート構造のFEM解析の精度向上に必要な基礎実験と解析モデルの開発」：代表者 京都大学・森田司郎教授」の分担課題によるものであり、関係各位に厚く御礼申し上げます。また、実験には、福井大学・技官・土田良雄氏ならびに卒論生・津村昌史君の協力を得た。ここに記して謝意を表します。

【参考文献】 1) 林 静雄、吉田弘行、黒正清治：ひびわれ近傍における異形鉄筋とコンクリートの付着性状に関する実験研究：日本建築学会構造系論文報告集、No.348、pp.86-97、1985.2