

V-13 異形鉄筋の付着強度に対する横方向鉄筋の影響に関する研究

北海道大学 正員 角田与史雄
 前田建設工業 正員 真岸 徹
 北海学園大学 正員 高橋 義裕

1. まえがき

異形鉄筋の付着破壊形態には種々あるが、かぶりコンクリートの割裂による場合の付着強度は、コンクリート強度のみでなく、配筋方法に関する諸因子や横方向鉄筋などの影響を受ける。近年これらの性状を定式化する試みが行われ、海外におけるOrangunら¹⁾、Jimenezら²⁾、国内では三浦ら³⁾、藤井ら⁴⁾の提案が知られている。これらの提案には主要影響因子のとり方などで共通点も見られるが、個々の因子の影響度合いなど相違点が多い。その中で横方向鉄筋の影響については、海外ではその降伏耐力が影響因子に選ばれているが、国内の研究では付着破壊時に横方向鉄筋が降伏するほど高い応力を受けることは一般にないことが明らかにされており、上記の国内の提案式では横方向鉄筋比またはそれに相当する因子が用いられている。このように国内の研究は着実な発展が見られるが、横方向鉄筋がある場合の付着強度が横方向鉄筋がない場合の付着強度に横方向鉄筋の効果を加算する累加耐力の考え方では、いずれの式も共通している。本研究はこの考え方が妥当かどうかを中心に、異形鉄筋の付着強度における横方向鉄筋の効果について実験的に検討したものである。

2. 実験方法

実験は二つのシリーズに分けて行った。シリーズⅠは横方向鉄筋の影響を直接調べたものでないが、その考察の参考にするために行ったもので、図-1に示すようにコンクリート直方体に重ね継手をもつ二組の水平鉄筋を配置した供試体を用い、コンクリートに鉛直方向の側圧をかけた状態で水平鉄筋に引張力を与え、重ね継手の付着破壊を起こさせる実験である。鉄筋は横フシ型異形棒鋼SC35のD19、コンクリートは単位セメント量 $333\text{kg}/\text{m}^3$ 、水セメント比49%で、早強ポルトランドセメントおよび天然骨材を用いた。実験は材令7日に行い、そのときのコンクリート圧縮強度は平均 $288\text{kg}/\text{cm}^2$ であった。実験に際しては供試体の上、下面はテフロンシートとグリースにより摩擦を低減させた。また、一部の供試体について鉄筋の引張端の変位(拔出し量)およびコンクリートの側圧方向変位を測定した。なお、後者の測定は供試体の上、下面の支圧板の相対変位の、左右端部の値の平均として求めた。

シリーズⅡは、異形鉄筋の付着強度に対する横方向鉄筋の影響を直接調べるための実験で、供試体は図-2に示すような長方形断面の鉄筋コンクリートはりで、引張鉄筋には支間中央部に重ね継手が設けられており、はりに対称二点荷重をかけることにより上記の範囲に純曲げモーメントが作用するようにした。なお、引張鉄筋が重ね継手の両端の断面で所定の引張力を確実に受けるよう、これらの断面の下縁にクラックイニシエーターを設けた。供試体材料はシリーズⅠとはほぼ同様であるが、コンクリートの配合がやや異なり、単位セメント量が $326\text{kg}/\text{m}^3$ 、水セメント比が50%である。また、試験日材令におけるコンクリートの圧縮強度は平均 $316\text{kg}/\text{cm}^2$ であった。

以上の実験における変数は、シリーズⅠでは定着長(重ね合わせ長さ) $L=10, 20\text{cm}$ 、かぶり厚 $c=3, 5\text{cm}$ 、側圧 $\sigma_t'=0\sim 90\text{kg}/\text{cm}^2$ 、シリーズⅡでは $L=10\sim 40\text{cm}$ および横方向鉄筋量 $A_t/sc=0\sim 8.7\%$ とし

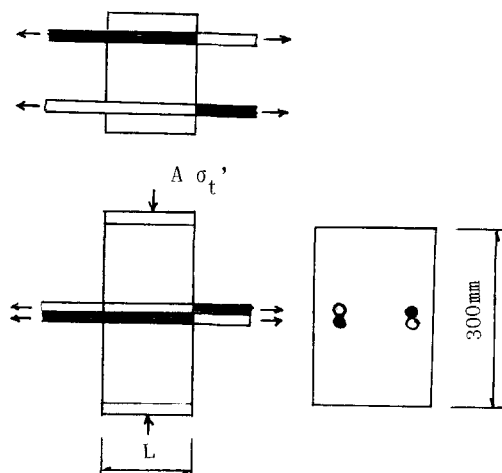


図-1 シリーズⅠの供試体

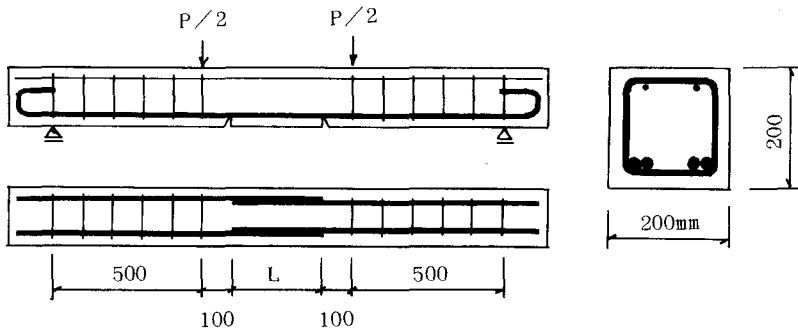


図- 2 シリーズⅡの供試体

た。ここに A_t は横方向鉄筋として引張鉄筋の重ね継手部に配置したスターラップの断面積で、 s はその間隔である。

3. 実験結果および考察

(1) 横方向鉄筋がない場合の付着強度について

横方向鉄筋の影響を実験的に調べる場合、横方向鉄筋がない場合の付着強度が比較の基準となる。前述のように異形鉄筋の付着強度式はすでにいくつか提案されており、それらは当然横方向鉄筋がない場合の付着強度を含んでいる。それらの中、藤井らの式は定着長が十分に大きい場合のみを対象にしているので本研究には利用しがたい。また、Jimenez らの式は付着強度がかぶり厚に比例させていることなど、実態に合わない点がある。それに対して Orangunらの式は実験データとの関係が比較的良好のようであるが、著者らが行った実験の結果に関する限り適合性が良くない。その原因の一つは Orangunらの式を得る際に重要な役割を果たしたと思われる Ferguson らの実験データと著者らの実験データとで、とくに鉄筋径の影響について異なる性状が見られるためである。その理由は今後十分なデータを蓄積した上でなければ判断が困難のようである。そこでここでは本研究の目的にてらし、著者らのデータとの適合性がよい次式を比較の基準として用いることにする⁵⁾

$$f_{0c} = \frac{100}{\frac{L}{\phi} + 20 \sqrt{\frac{\phi}{c}}} \sqrt{f'_c} \quad (1)$$

ここに f'_c はコンクリートの圧縮強度 (kg/cm^2)、 ϕ は鉄筋径を表わす。

(2) 側圧の影響について

異形鉄筋の付着強度に対する横方向鉄筋の効果は、鉄筋またはかぶりコンクリートの側方変位に対する拘束作用によると考えられる。その際に生ずる拘束圧は当然その側方変位の大きさによって異なると考えられる。それに対してシリーズⅠの実験は、拘束圧を一定にモデル化したときに相当している。

まず、シリーズⅠの実験で得られた付着強度に $300/f'_c$ を乗することにより $f'_c = 300\text{kg}/\text{cm}^2$ のときの付着強度に換算されたものとみなし、次に(1)式による計算値を差引くことにより、側圧による付着強度の増加量 Δf_0 を算定した。図- 3はその結果を側圧 σ_t' に対して描い

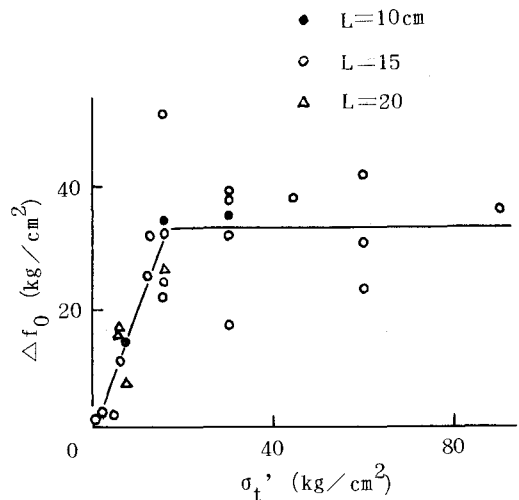


図- 3 側圧と付着強度増加量の関係

たものである。これによれば、横方向鉄筋量がある限度を越えればその効果が頭打ちになっているが、それは割裂破壊の方向が側圧の方向と関係ない破壊形態に変わるためであり、その限度内であれば付着強度増加量と側圧とはほぼ比例関係が見られる。このように側圧は異形鉄筋の付着強度に大きな影響をもつことがわかる。

(3) 付着応力-側方変位の関係について

図-4～6はシリーズⅠの実験で観測された付着応力(定着長 L における平均付着応力) τ_0 とコンクリート側方変位 w の関係を示したものである。いずれの図にも見られるように、付着応力がある限界に達するまでは少なくとも観測精度に入る側方変位は現れない。この限界は付着応力の最大時に対応しており、そのあと付着応力の急速な低下と同時に側方変位が生じている。図は省略したがこのとき鉄筋の拔出し量の急増も生ずる。これらのことはかぶりコンクリートの割裂ひびわれの発生成長を物語るものである。従って図-4～6の曲線は、専ら割裂ひびわれの発展に伴う最大応力後の除荷過程を示していることになる。

図-4ではかぶり厚が異なる場合の τ_0-w 曲線が描かれている。前述の(1)式に見られるように、かぶり厚が大きいほど付着強度は大きくなる。しかしこの点を除けば二本の曲線に本質的な相違は見られない。図-5は、定着長が異なる場合の比較を示している。定着長が大きくなれば付着破壊耐力は増大するが、それを付着面積で除した付着強度は逆に減少する。それは、定着長が大きくなれば付着破壊が引張端側から徐々に進行するため付着応力分布の不均一性が増すためである。しかしそのことはじん性の増加の可能性を意味し、図にもその傾向がはっきり示されている。図-6は側圧の異なる τ_0-w 曲線を比較したものである。ここでは側圧による付着強度の増加の影響を除けば、とくに目立った傾向は見られない。

以上のように、付着強度の相違によって定量的には差はあるが、 τ_0-w 曲線はかなり急速な応力減少過程を示し、付着破壊がぜい性的なものであることが示された。

(4) 横方向鉄筋の影響

図-7は、シリーズⅡの実験で得られた付着強度を横方向鉄筋比 A_t/sc に対して描いたものである。一方、実測値から(1)式による計算値を差引き、横方向鉄筋による付着強度の増加量 Δf_0 として示したのが、図-8である。前述の側圧の影響の場合には、側圧をかけることにより直ちに付着強度の増加がもたらされたのに対し、横方向鉄筋の場合にはある量以上の横方向鉄筋を入れなければ効果がなく、かつその限界の横方向鉄筋量は定着長

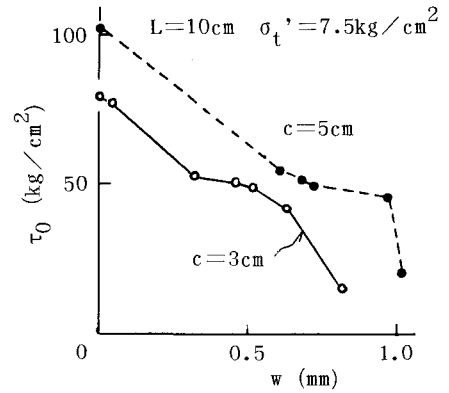


図-4 τ_0-w 曲線

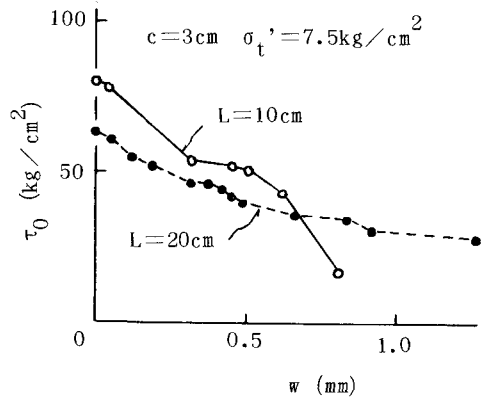


図-5 τ_0-w 曲線

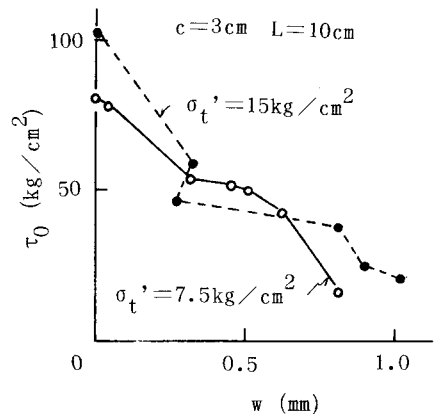


図-6 τ_0-w 曲線

が小さいほど大きくなっている。このような性質は前述の τ_0-w 曲線の形状と密接に関係していると考えられる。すなわち、横方向鉄筋はその位置のコンクリートに割裂ひびわれが生じ側方変位が生じて初めて引張応力を受け、それが拘束圧をもたらすと考えられるが、 τ_0-w 曲線が顕著な下降曲線であるため、側方変位の増加によりコンクリートによる付着抵抗が急速に減少する。従ってこの減少量を上回る横方向鉄筋の効果が生じなければ、付着強度の増加が現れないことになる。また、横方向鉄筋の効果の一つとして、定着長にわたる付着応力分布の均一化が起ることが知られている。図-7が横方向鉄筋量の多い範囲で定着長にかかわらない漸近線の存在を示唆しているのは、上記のような性質によると考えられる。

異形鉄筋の付着強度に対する横方向鉄筋の効果について、既往の提案式では一般に累加耐力の考え方がとられているが、付着破壊がかなりぜい性の強い現象であることから、累加耐力の考え方については再検討が必要であると思われる。

4. 結論

以上に述べた主な結果を列挙すれば、次のとおりである。

- 1) 異形鉄筋の付着強度は、かぶりコンクリートの側圧により増加し、その増加量は側圧の大きさにほぼ比例する。ただし、側圧がある値を越えれば破壊形態の変化により効果は頭打ちになる。
- 2) かぶりコンクリートの側方変位は割裂ひびわれ発生後に初めて生じ、その後側方変位の増加に伴って付着応力は急激に減少する。
- 3) 横方向鉄筋は異形鉄筋の付着強度の増加にとって極めて有効である。しかし、横方向鉄筋量がある限界以下の場合には効果がない。それは、コンクリートによる付着抵抗が2)に述べたようにぜい性的であるため、側方変位に伴う横方向鉄筋の効果が、コンクリートの抵抗の減少を補償できないためと考えられる。

謝辞：本研究は北海道大学の木村 勉技官の協力によりなしたものである。また、北海学園大学の学生(当時) 竹内摂雄、古田裕達、遠藤良一、高木雄志の諸氏の助力を受けた。ここに深く感謝申し上げたい。

文献

- 1) C. O. Orangun et al: A Reevaluation of Test Data on Development Length and Splices, ACI Journal, Mar. 1977
- 2) R. Jimenez et al: Bond and Dowel Capacities of Reinforced Concrete, ACI Journal, Jan. 1979
- 3) 三浦、妹島：極低温下における鉄筋の重ね継手性状におよぼす横方向鉄筋の性質の影響、第5回コンクリート工学年次講演会講演論文集、1983
- 4) 藤井、森田：異形鉄筋の付着割裂強度に関する研究(第2報)、日本建築学会論文報告集 324、1983. 2
- 5) 角田、高橋：異形鉄筋の重ね継手における定着付着強度に関する研究、土木学会北海道支部論文報告集 38、1982. 2

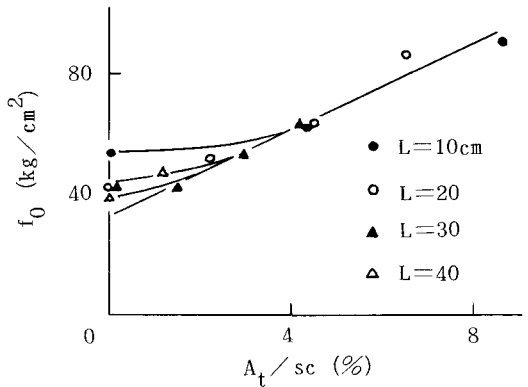


図-7 横方向鉄筋量と付着強度

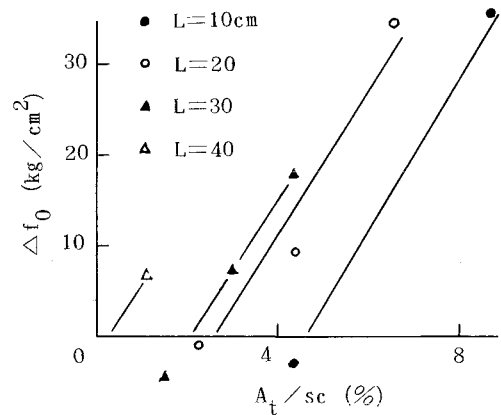


図-8 横方向鉄筋量と付着強度増加量