

[126] 異形鉄筋の付着強度に対する横方向鉄筋の影響について

正会員○高橋 義裕 (北海学園大学工学部)

正会員 角田 与史雄 (北海道大学工学部)

正会員 真岸 徹 (前田建設工業)

1. まえがき

異形鉄筋の付着破壊形態には種々のものがあるが、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、国外では Orangun¹⁾, Jimenez²⁾, 国内では三浦³⁾, 藤井⁴⁾ がそれぞれ式を提案している。これらの提案式には、主要影響因子のとり方などで共通点もみられるが、個々の因子の影響度合など相違点が多い。その中で横方向鉄筋の影響については、国外では一般にその降伏強度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点に達するほどの高い応力を受けることは一般的でないことが明らかにされており、上述の国内の提案では横方向鉄筋比またはそれに相当する因子が定義されている。しかし、付着強度に対して横方向鉄筋が寄与するメカニズムについてはなお不明な点が多い。本研究は、この問題に関する研究の基礎段階として、異形鉄筋の重ね継手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ついて行なった。シリーズ I は横方向鉄筋の効果を直接的に調べたものではないが、その考察の参考にするために行なったもので、図-1 に示されている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た。まず、コンクリートに鉛直方向の側圧をかけ、次に水平鉄筋に引張力を与えて重ね継手の付着破壊を起こさせた。使用鉄筋は横フシ型異形棒鋼 SD35 の D19、コンクリートは単位セメント量 333 kg/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平均圧縮強度は 288 kg/cm^2 であった。供試体の上、下面是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。

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検討するための実験で、供試体は図-2 に示す矩形断面の鉄筋コンクリートはりで、引張鉄筋の支間中央部に重ね継手が設けられている。はりには対称二点荷重をかけることにより上記継手部に純曲げモーメントが作用するようにした。なお、引張鉄筋に重ね継手の両端の断面で所定の引張力を確実に伝えるために、これらの断面の下縁に人工の切りかきを設けた。鉄筋は横フシ型異形棒鋼 SD35 の D19、単位セメント量 326 kg/m^3 、水セメント比 50% で、早強ポルトランドセメントおよび天然骨材を使用し、試験 7 日材令におけるコンクリートの圧縮強度は平均 316 kg/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(重ね合せ長) $L = 10, 20 \text{ cm}$ 、かぶり厚 $c = 3, 5 \text{ cm}$ 、側圧 $\sigma'_t = 0 \sim 90 \text{ kg/cm}^2$ 、シリーズ II では $L = 10 \text{ cm} \sim 40 \text{ cm}$

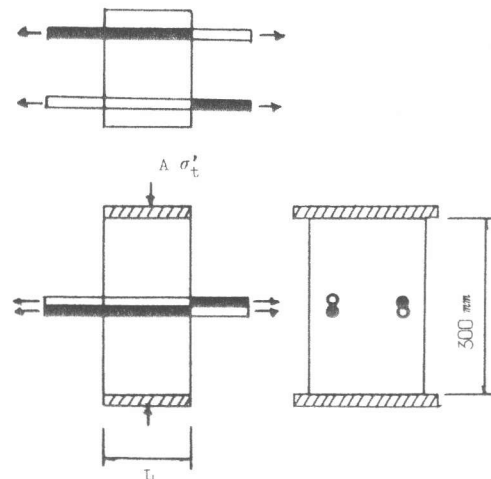


図-1 シリーズ I の供試体

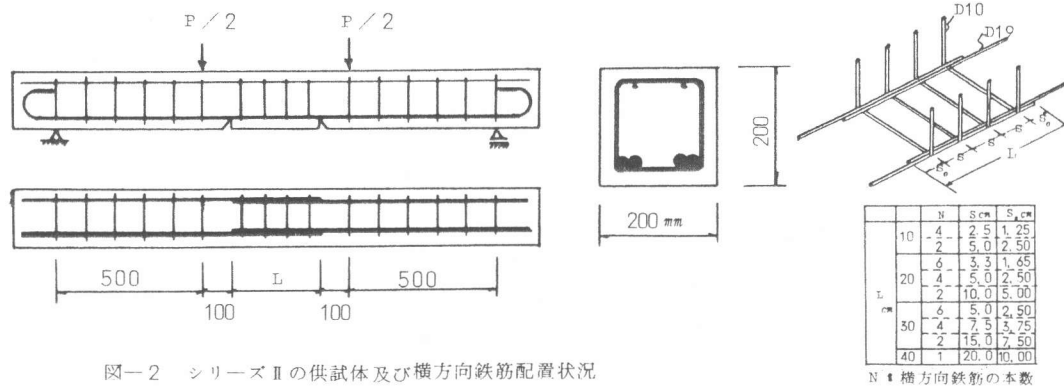


図-2 シリーズIIの供試体及び横方向鉄筋配置状況

および横方向鉄筋比 $A_t / s c = 0 \sim 8.7\%$ とした。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1本の断面積で、 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、いずれもそれぞれ実験的裏付けを有している。しかし、著者らが行った実験結果に関する限りいずれも適合性が十分とはいえなかった。そこで本研究では著者らのデータとの適合性が比較的良好な次式を基準として用いることにする⁵⁾。

$$f_{0.2} = \frac{100}{\frac{L}{\phi} + 20 \frac{\phi}{f_c}} \sqrt{f_c} \quad \text{----- (1)}$$

ここで f_c はコンクリートの圧縮強度 (kg/cm^2)、 ϕ は鉄筋径である。図-3は上式と著者らが行った実験データとの関係を示したものである。

(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。ただし、ここでいう側方変位とは図-4で示される左右2個のダイヤルゲージ (D1, D2) の読みの平均値である。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。従ってシリーズIの実験は、拘束圧を一定にモデル化した場合に相当する。

図-5はシリーズIの実験で得られた付着強度から(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、 Δf_0 と側圧 σ'_s との関係を示したものである。同図より、側圧 σ'_s 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のない破壊形態に変るためであり、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、過去の研究でも明らかにされている⁶⁾ ように異形鉄筋の付着強度に

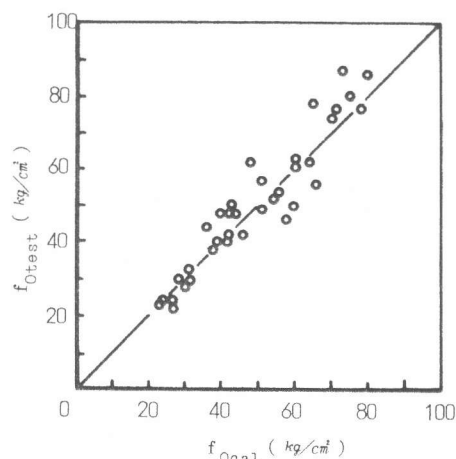


図-3 式(1)の値 f_{0cal} と実験値 f_{0test} との関係

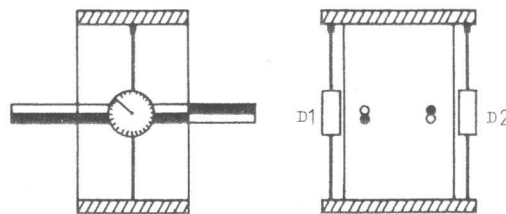


図-4 側方変位測定ゲージ配置状況

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

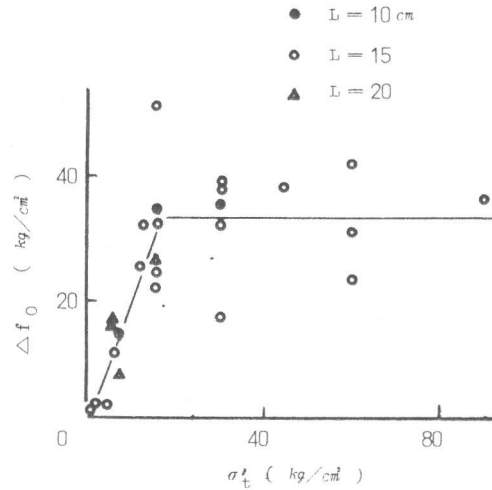
図一6と図一7はシリーズIの実験で観測された付着応力(定着長 L における平均付着応力) τ_0 とコンクリート側方変位 w との関係を示したものである。いずれの図にも見られるように、付着応力がある限界に達するまでは少なくとも観測精度に入る側方変位は現れなかった。この限界は付着応力の最大値に対応しており、そのあと側方変位の増加と同時に付着応力の急速な低下が生じている。これらのことは、側方変位がかぶりコンクリートの割裂ひびわれの発生成長にあることを物語っている。従って図一6と図一7の曲線は、専ら付着応力が最大に達した後の除荷過程を示していることになる。図一6ではかぶり厚 c が3cmと5cmの場合の τ_0-w 関係を示している。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が、図中の二本の曲線はほぼ平行となっており、付着強度相違がそのまま τ_0-w 曲線の相違となっていることがわかる。図一7は定着長 L が10cmと20cmの場合についての τ_0-w 関係を示している。定着長が長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、定着長が長くなれば付着破壊が引張端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、そのことは韌性の増加の可能性を意味し、同図もそのような傾向をはっきりと示している。

以上のように、 τ_0-w 曲線はかぶり厚や定着長の影響は受けるが、一般的に見てかなり急速な応力減少過程を示し、付着破壊が脆性的なものであることが示された。

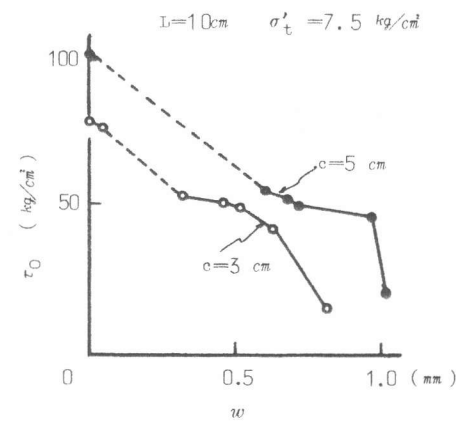
(4) 横方向鉄筋の影響

図一8はシリーズIIの実験で得られた付着強度 τ_0 から(1)式による計算値を差引いた横方向鉄筋による付着強度の増加量 Δf_0 と横方向鉄筋比 $A_{t, \perp}/s_c$ との関係を示したものである。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、横方向鉄筋の影響の場合には、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が短いほど大きくなっている。

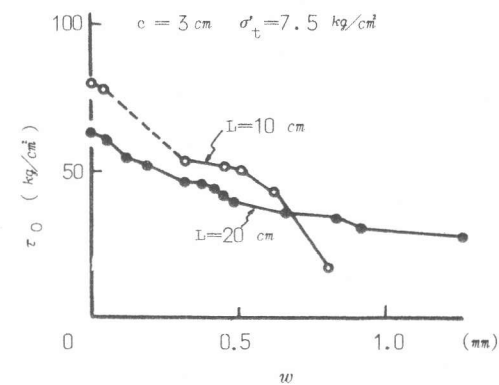
図一9は、実測された横方向鉄筋のひずみと荷重との関係を示したものである。図中の数字は横方向鉄筋に添付されたひずみゲージの位置を示している。これによれば重ね継手端部に近い横方向鉄筋から順次ひずみが生じている。すなわちゲージ番号1と4は荷重が2ton附近からひずみが増加しているのに対し、ゲージ番号2と3は荷重が4ton近くまでほとんどひずみが発生していない。このことは割裂ひびわれがまだこの横方向鉄筋附近まで進行していないことを示すものと思われる。荷重が4tonをすぎると割裂ひびわれは重ね継手全長に発生し、それ



図一5 側圧と付着強度増加量の関係



図一6 τ_0-w 関係



図一7 τ_0-w 関係

その横方向鉄筋の拘束効果をもたらしていることが分かる。また、最大荷重において横方向鉄筋に発生しているひずみは、600 μ 程度であり降伏ひずみに達していない。

以上のことより、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 - 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われないことになる。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⁴⁾。

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がとられているが、付着破壊がかなり脆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、側圧がある直を越えれば破壊形態の変化によりその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。これはコンクリートによる付着抵抗が2)で述べたように脆性的であるため、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。
- 4) 横方向鉄筋がある程度配置されている重ね継手部においてその割裂ひびわれは重ね継手端部側より順次発生していくものと思われる。また、最大荷重において横方向鉄筋に発生しているひずみは使用鉄筋の降伏点以下である。

謝辞：本研究は北海道大学の木村 勉技官，北海学園大学の学生（当時），竹内，古田，遠藤，高木の緒氏の協力を受けた。ここに深く感謝申し上げる。

参考文献：

- 1) Orangun, C. Q., et al : A Reevaluation of Test Data on Development Length and Splices, J. A.C.I., Mar. 1977
- 2) Jimenez, R., et al : Bond and Dowel Capacities of Reinforced Concrete, J. A.C.I., 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に関する研究（第2報），日本建築学会論文報告集，324号，1982，2
- 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号，1982，2
- 6) Untrauer, R. E., and Henry, R. L. : Influence of Normal Pressure on Bond Strength, J. A.C.I., May 1965

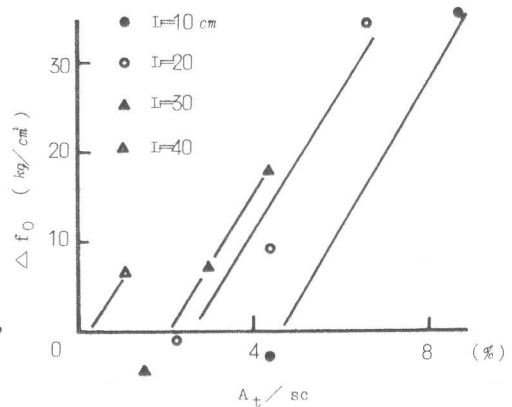


図-8 横方向鉄筋量と付着強度増加量

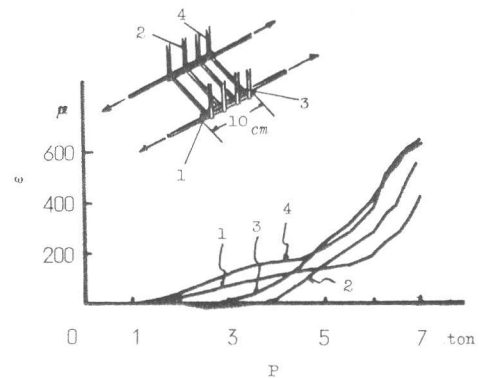


図-9 横方向鉄筋ひずみと載荷荷重との関係