

V-11 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

北海道大学 正員 角田与史雄

北海学園大学 正員 高橋 義裕

1. まえがき

鉄筋とコンクリートとの間の付着作用は、鉄筋コンクリートが構造体としての機能を果たす上に不可欠なものであることは、周知の通りである。ところで付着作用は、その実用上の取扱いの便宜から、局部付着、定着付着およびひびわれ間付着に分けて考えるのが普通である。それらの中、部材の耐力にとって最も重要なのは定着付着であり、そこでは鉄筋の定着長にわたる平均応力として付着応力が定義される。そして、定着破壊時の付着応力は、定着付着強度または単に付着強度と呼ばれている。

異形鉄筋の付着作用は、主としてフシによるかみ合わせ作用に依存するが、その耐荷機構は極めて複雑であり、従って付着強度は非常に多くの因子の影響を受ける。例えば、鉄筋の直径および表面形状、コンクリートの強度、かぶり厚および鉄筋間隔、定着長、部材中の鉄筋の位置および方向、定着部のコンクリートの応力状態（圧縮部か引張部か、および側方圧力）、横方向鉄筋の有無および量、フックの有無およびその形状寸法などがそれである。そのため、すべての影響因子を考慮した付着強度式を求めるとは困難であり、また実際的でない。そこで一般には、基本的な因子のみを考慮した付着強度式を定め、他の因子の影響は基本強度の補正係数や構造細目によって考慮する方法が用いられている。

このような目的で提案されている付着強度式はいくつかあるが、それらの中で、主要な因子の影響を反映させたものとして、Orangunら¹⁾の式を挙げるができる。すなわち

$$f_0 = (1.2 + 3c/\phi + 50\phi/L + A_t f_{ty}/35s\phi) (0.07f_c)^{0.5} \quad (1)$$

ここに f_0 は付着強度(kg/cm^2)、 c はかぶり厚または鉄筋のあきの $1/2$ の中の小さい方、 ϕ は鉄筋径、 L は定着長、 A_t および s は定着破壊面(割裂破壊面)を横切る横方向鉄筋の一断面当りの合計断面積および降伏点、 s はその間隔を表わす。また、 f_c はコンクリートの圧縮強度(kg/cm^2)を表わす。

本研究は、異形鉄筋の重ね継手の定着破壊実験を行うことにより、上式のもつ長短について調べるとともに、横方向鉄筋がない場合の付着強度式を新たに求めたものである。

2. 実験方法

本研究で用いた供試体は、長方形断面の鉄筋コンクリートはりで、単純はりとして二点対称荷重をかけることにより、スパン中央部に一様曲げモーメントを作用させた。主鉄筋は二本からなり、一様曲げモーメントの区間に重ね継手を設けた。はりのせん断区間はスターラップを配置してせん断破壊を防止したが、主鉄筋の重ね継手部は横方向鉄筋は配置しなかった。

調べた変数は鉄筋径 ϕ (10、16、25、32mm)、かぶり厚 c (鉄筋径の1～5倍)、定着長 L (鉄筋径の5～40倍)の三つとし、これらの組合せの中から合計40種を選んで実験を行った。なお、はりの断面幅は、鉄筋のあきがかぶり厚の二倍以上になるよう10～30cmの範囲で選び、また、高さは鉄筋径により20～35cmの間から選んだ。

使用した鉄筋は、横フシ型異形棒鋼SD35である。また、コンクリートは早強ポルトランドセメントおよび天然骨材を使用し、水セメント比50%で、試験日における目標強度は $300\text{kg}/\text{cm}^2$ である。

試験はりには、重ね継手部の鉄筋に確実に計算応力が作用するよう、重ね継手の両端位置の下面にVノッチを設け、それらの位置に曲げひびわれが生ずるようにした。

試験はりおよびコンクリート強度試験用供試体は、材令1日に脱型した後湿布養生を行い、材令7日に試験に供した。

3. 実験結果および考察

実験を行った40本のほりのうち、鉄筋の定着長さなわち重ね合わせ長さが比較的大きかった10本のはりで曲げ破壊が起り、残り30本のはりで重ね継手部の定着破壊が起った。定着破壊を起したはりでは、慣用の応力理論（ただしヤング率比は実測結果に基づき6.5前後の値を使用）を用いて定着破壊時の鉄筋応力 σ_s を計算し、慣用の次式を用いて付着強度を求めた。

$$f_0 = \phi \sigma_s / 4L \quad (2)$$

しかし、各供試体においてコンクリート強度が多少ばらついたので、その影響を去除するため、付着強度がコンクリートの圧縮強度 f_c の平方根に比例すると仮定し、次式により圧縮強度 300kg/cm^2 の場合に換算した付着強度 $\bar{f}_0$ を求めた。

$$\bar{f}_0 = f_0 (300 / f_c)^{0.5} \quad (3)$$

図-1は、実験で得られた付着強度に対する定着長の影響を $\bar{f}_0 - \phi / L$ の関係として描いた例を示したものである。この例に見られるように、付着強度は定着長の増加とともに減少する。これは、定着長全長にわたって付着応力が一樣になるのではなく、定着長に沿って付着破壊が徐々に進行するため、定着長を大きくしても有効定着長はそれほどには大きくならないためである。そのような性質は、前述のOrangunらの式でも考慮されており、そこでは付着強度は ϕ / L と直線関係にあるとされている。しかし、図-1はこのような直線関係が成り立つのは ϕ / L の値がある程度以上大きな場合であって、 ϕ / L が小さな範囲すなわち定着長が大きな場合には、必ずしも直線関係は良い近似とは言えないようである。実験で得られるデータは付着破壊を起した場合であるので、定着長の短い場合のものであるのが普通であるが、実際の構造物の設計に必要なのは付着破壊が起らない長い定着長に対してであり、従って付着強度式は長い定着長のデータに良く合うことが肝要である。

次に、図-2は付着強度に対するかぶり厚の影響を $\bar{f}_0 - c / \phi$ の関係で示した例を挙げたものである。この図に見られるように、付着強度はかぶり厚が大きい程大きく、両者の間にほぼ直線的な関係が示されている。前述のOrangunらの式でもこの点については直線関係が用いられており、妥当な近似であることがわかる。

ところでOrangunらの式では、定着長、かぶり厚および鉄筋径の三つの因子の影響が、 ϕ / L および c / ϕ の二つの無次元量の影響としてとらえられている。もしもこのOrangunらの考えが正しいものとするれば、 ϕ / L および c / ϕ が等しい場合には、付着強度は一定になるはずである。図-3はこのような場合のデータを抜きとったものである。この図は明らかに、 ϕ / L および c / ϕ の値がともに一定であっても付着強度が一定にはならないことを示している。そして、 ϕ / L および c / ϕ が一定のもとでは、鉄筋径が小さいほど付着強度が大きくなり、それは鉄筋径が16mmから10mmに減少した時に著しいことがわかる。鉄筋コンクリートの力学的性質を定式化する場合、無次元因子のみでは実際の性質を再現するのが困難な問題が多くあることは一般に良く知られているが、付着強度の問題もまたその一つなのであろう。Orangunらの式は、その形がきれいであるが、その反面、上記のような性質が無視されたことによる欠点は止むを得なかったと言えよう。

図-4は、 $\bar{f}_0$ の実測値とOrangunらの式による計算値との比について、そ

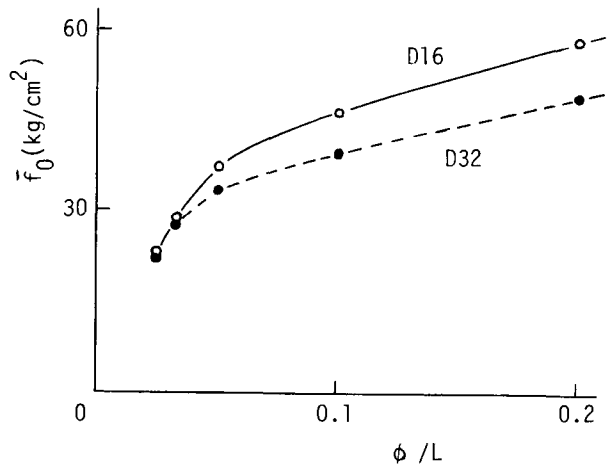


図-1

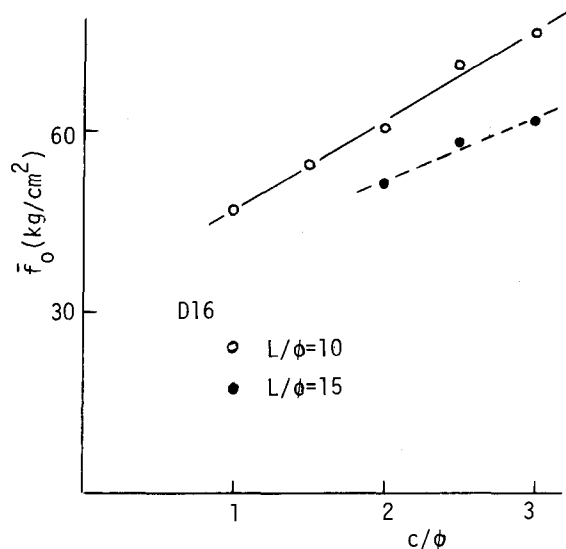


図 - 2

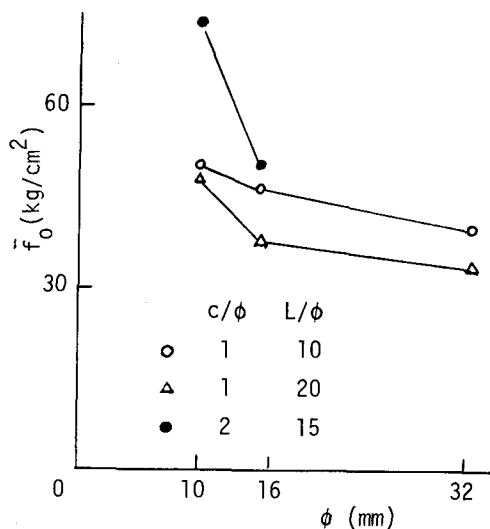


図 - 3

の度数分布を示したものである。これによれば、全データで見る限り計算式の実測値との適合性はそれ程悪いと言うことはできず、実際、実測値／計算値の比の平均値および標準偏差は 1.08 ± 0.20 で、まずまずの精度と言えよう。しかし、各鉄筋径毎に分けて見れば、明らかに鉄筋径による偏りがあり、鉄筋径10mmではかなり安全側の値を、そして鉄筋径32mmではやや危険側の値を与えることがわかる。

次に、図- 5は図- 1と同じデータを $1/\bar{f}_0$ と L/ϕ の関係として描いたものである。この図のように描けば、ほとんどの場合にほぼ直線的な関係が得られ、かつ、その勾配も相互に大差ない値となった。すなわち

$$1/\bar{f}_0 = A \cdot L/\phi + g(c, \phi) \quad (4)$$

そこで Aとして全体の平均値を用い、残りの項について c と ϕ とどのような関係にあるかを調べた結果、 ϕ/c の平方根および ϕ の平方根の関数とみなすことができ、近似的に両者に比例するとおいても実用上十分であることがわかった。すなわち

$$g(c, \phi) = B \cdot \phi / c^{0.5} \quad (5)$$

結局、付着強度式の形は

$$\bar{f}_0 = \frac{1}{A \cdot \frac{L}{\phi} + B \cdot \frac{\phi}{\sqrt{c}}} \quad (6)$$

そこで改めて全データを用いて係数 A および B の値を求め直し、さらに、コンクリート強度 300 kg/cm^2 に対す

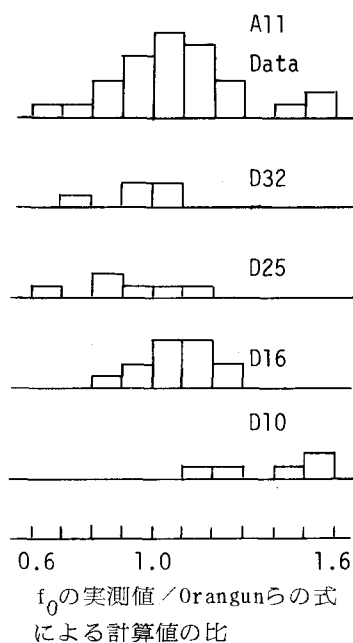


図 - 4

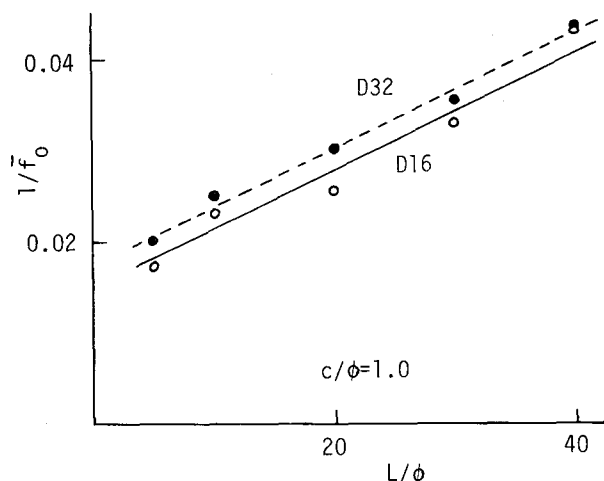


図 - 5

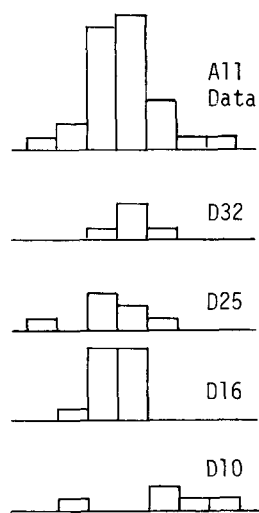


図 - 6

る式から、前と同じく付着強度がコンクリート強度の平方根に比例すると仮定することにより、任意の強度に対して一般化して、結局次式を得た。

$$f_0 = \frac{100}{\frac{L}{\phi} + 20 \frac{\phi}{\sqrt{c}}} \sqrt{f_c} \quad (7)$$

図 - 6 は、 f_0 の実測値と上式による計算値の比の度数分布を示したものであり、前述の図 - 4 におけるような鉄筋径により偏りもほとんど見られず、全体としての適合度も非常に良いものとなっている。因みに、全データに対する実測値 / 計算値の比の平均値および標準偏差は 1.02 ± 0.11 である。

ところで上式は、50% 確率に対するものである。もしも 95% 確率をもって特性付着強度を定義するものとすれば、上式の代りに次式を用いばよい。

$$f_0 = \frac{85}{\frac{L}{\phi} + 20 \frac{\phi}{\sqrt{c}}} \sqrt{f_c} \quad (8)$$

このとき、鉄筋応力 σ_s に対する必要定着長は、安全係数を γ とするとき、次式のように表わすことができる。

$$L = \frac{20\phi / \sqrt{c}}{340 f_c / \sigma_s - 1} \phi \gamma \quad (9)$$

4. まとめ

本研究は、異形鉄筋の定着付着強度について、重ね継手の定着破壊実験をもとに検討したもので、横方向鉄筋の影響は調べなかったが、Orangun らの提案式は全体的には実験値に合うように見えるが、鉄筋径による偏りがあること等を指摘するとともに、その欠点を解消した一つの式を見い出した。

おわりに本研究は文部省科学研究費の補助を受けて行ったものであり、また、実験に際しては北海道大学の木村 勉技官および北海学園大学学生(当時)の榎戸陽一、古田 薫の両君の全面的な協力を受けことを記し、ここに深く感謝の意を表したい。

文献 1) Orangun, C. O., Jirsa, J. O., Breen, J. E. : A Reevaluation of Test Data on Development Length and Splices, ACI Journal, Mar. 1977