

1 はじめに

鉄筋とコンクリートとの付着は、複合材料としての鉄筋コンクリートの基本をなすものである。したがって付着強度は、鉄筋コンクリート部材の曲げ強度、せん断強度と同じように鉄筋コンクリート構造物の安全度に大きな影響を及ぼすものである。

鉄筋とコンクリートとの付着特性は鉄筋コンクリート部材あるいは構造物の性状として現われるものは、鉄筋の定着性、せん断力に耐えるための付着性、およびひびわれ分散性の3つに大別できると考えられる。これらの諸性状を満足させるために JIS G 3112 では D6 ~ D41 の鉄筋についてフシの高さ、フレの間隔等を規定している。また付着強度はコンクリート強度と密接に関連することから土木学会「鉄筋および鉄筋コンクリート標準示方書」では普通丸鋼および異形鉄筋につきコンクリートの設計基準強度に依じた許容付着応力度を定めている。現段階では JIS G 3112 に規定される鉄筋のうち D32 以下の鉄筋はコンクリートの強度のみによって設計上の付着強さを評価されている。

近年 D51 のような大径鉄筋が用いられるに及んで鉄筋の付着特性に対する関心が高まるとともに鉄筋の付着特性についての基本的な検討が必要となってきた。鉄筋の付着特性を求めるには付着について試験を行なうことが必要であり現在までに種々の方法が提案されているが鉄筋の付着特性は鉄筋周囲のコンクリートの性状および積方同補強の程度に大きく影響されるために付着特性を正確に評価できるような試験方法は未だ確立されていないように思われる。

本研究は鉄筋の付着特性を単に異形鉄筋の表面形状およびコンクリート強度のみから推定する鉄筋周囲の積方同補強、および鉄筋に沿ってひびわれ等を考慮し、また実際の部材中での付着状態に近づく類似させ、しかも試験が簡単な方法として厚肉供試体による引抜き試験方法を提案し、この方法によって得た実験結果およびその評価方法につき研究を行なうことに述べようのである。

2. 付着試験の方法および使用材料

付着試験の方法は次の事項をできるだけ満足させることが適当とされる。すなわち、

- a) 供試体の製作が容易であること b) 載荷装置および方法が簡単であること、
- c) 種々の直径の鉄筋に適用できること、 d) 積方同鉄筋が主鉄筋に打ち込んで配置できること、
- e) 必要と鉄筋径に比例できること、 f) 応力状態および破壊状態が異部材と類似していること
- g) 異形鉄筋としての付着性能の判定が容易であること、その他

これらの念頭に置いて種々の試験方法を検討した結果、試験方法が簡単で、しかも上記の条件も比較的満足するものとして厚肉供試体による引抜き試験方法を採り上げることにした(図-1参照)。

本研究では供試鉄筋として D16 および D25 の2種とし、フレの影響として斜めフレおよび横フレ(デコンおよびリバコン)の2種を用いた。断面の幅は 15cm を標準とし、厚さ t は鉄筋径の倍数として必要と変化させた。おぼり鉄筋の両面に $1/\phi$ (ϕ : 鉄筋直径) ずつとし、またおぼり片側に $1/\phi$ とし、他面を $3/\phi$ としたものをあつた。鉄筋の埋込み長さは 5ϕ および 10ϕ とした。積方同鉄筋には $\phi/6$ を用いた。

また比較のために日本コンクリート会議の付着試験方法(案)による引抜き試験も行なった。

コンクリートは粗骨材最大寸法 15mm, スランポ 8mm, 試験時の圧縮強度を 320 kg/cm² および 430 kg/cm² の 2 種とした。

引抜き試験による付着強度は載荷板の孔の大きさに大きく影響されるので、本研究では載荷板を図-1 に示すように 2 枚の独立した鋼板とし、その間隔を鉄筋径に比例させて変えらるようとした。

試験は鉄筋自由端に 1/1000 mm 精度のダイヤルゲージを用いて一定の荷重速度で載荷し、荷重鉄筋自由端の変位量と測定した。

3 実験の結果

1) 付着応力度-鉄筋自由端変位の関係

D16 D25 の各々について積みし、斜めし鉄筋を用いて引抜き試験を行ない鉄筋自由端の変位と測定した結果を図-2 に示す。これらの試験体は積層間鉄筋 $\phi 6$ を 3mm 間隔としたこと、および供試体の幅を 15cm としたこと、を除いて、おおよそ埋込み長さおよび載荷板の間隔をあてて鉄筋径に類似に比例させている。また積層間には変位量と鉄筋径に割った無次元数で変位を表示してある。これから明らかになるように平均付着応力度と無次元化した変位量との関係は整理することによって鉄筋径の相違による自由端変位量の相違を除去されることを示されている。このように表示することによって鉄筋の断面形状の相違が明瞭に示されるかと思われる。JIS では D16 と D25 とで斜めし高の割合をわすかならず変えていること、および供試体の積層間鉄筋量で D16 と D25 の断面積比より 1 割多く配量されていること、等により試験体は必ずしも無次元化できる状態にないが、これらの影響は比較的小さいことを示されるかと思われる。

供試体の幅は無次元化の考えに立てば鉄筋径に比例させるべきであるが、この測定結果から D16 と D25 の寸法差程度ではほとんど影響が現われないことを示された。したがってこの試験方法による場合には鉄筋を径によって数グループに分け、同一グループの鉄筋には供試体の幅を一定として型枠の兼用が可能と思われる。この場合供試体の長さの径によって異なるので仕切板等を用いなければならないであろう。

2) かぶりと最大付着応力度との関係

供試体の片面のかぶりを 1 ϕ とし、他面を 1 ϕ または 3 ϕ とした場合の最大付着応力度（一定の付着分布を仮定）の大きさを図-3 に示す。この結果が明らかに片面のかぶり 3 ϕ の方が 1 ϕ のものより大きな最大付着応力度と示される。

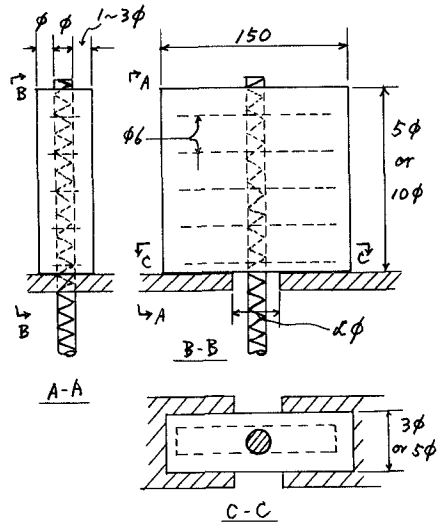


図-1 引抜き供試体の形状

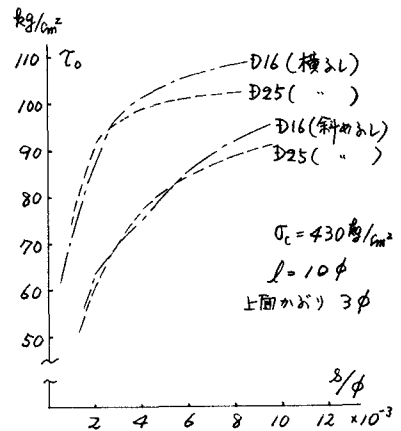


図-2 自由端相対変位量と平均付着応力度の関係(実験値)

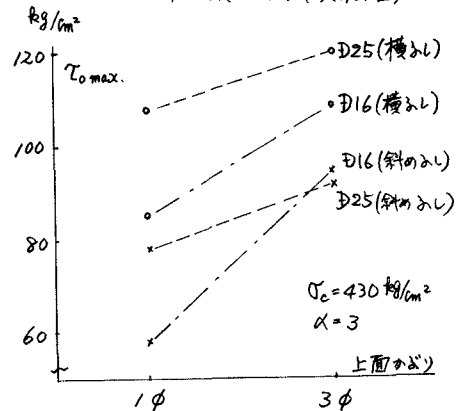


図-3 かぶりと最大付着応力度の関係(下面のかぶり: 1φ)

ここで斜めなしと横めなしの差が現れだつたり、横めなしの鉄筋が約20%程度大きくなる等とつてゐる。

かぶりと両面とも1φとすれば供試体の厚さは3φであり、平板に近い形状であるのに対し、片面を1φ他面を3φとしたものは実物のはり鉄筋の場合と比較的近いものと考えられるが、この実験の結果からいへば、この場合でも鉄筋の付着性状を評価することは可能であると思ふ。

図-4にみかぶり、おしり形状をパラメータとし、鉄筋径と最大付着応力度との関係を示す。この結果より、3φの場合には鉄筋径が大きくなると最大付着応力度も増大するが、みかぶり、おしりの場合には逆に鉄筋径が大きくなると低下する結果となつてゐる。これは供試体の幅を15cmと一定としてゐるために鉄筋径が小さい場合には供試体に対して偏平となり鉄筋の付着応力度分布およびコンクリート内の応力分布が若干異なるためと思ふ。

3) コンクリートの強度の影響

付着強度はコンクリートの圧縮強度と密着率の関係にあると思ふので、図-5に圧縮強度と最大付着応力度との関係を示した。これよりコンクリートの圧縮強度が約30%増加すると最大付着応力度は約10%増加することを見られる。したがつてこの試験方法は鉄筋の付着性状をコンクリートの品質に関連させて評価することにできるものである。ただし実物の構造物ではブリーディングおよびコンクリート打込み後の沈下収縮によつて鉄筋下面に空隙が生じやすいので、これについては別に考慮すべき必要であらう。

4) 載荷板間隔の影響

この実験では鉄筋径に応じて自由に載荷板の間隔を変えられるように2枚の独立した鋼板を用いた。図-6に載荷板間隔と最大付着応力度との関係の測定値を示す。この結果、平板に近い供試体(D16の場合)では載荷板間隔が大きくなると最大付着応力度も低下することを見られるが、D25の場合には逆の結果となつてゐる。これは供試体の形状が相似形でないことによるものと思ふが、ここで用いた程度の形状の差では載荷板の間隔にそれほど敏感でないようにも思ふ。したがつてこの結果から最大付着応力度はほぼ一定の値となる場合の鉄筋径の3倍程度の載荷板の間隔として適當であると思ふ。

5) 日本コンクリート会議試験方法(案) と比較

比較のために日本コンクリート会議が提案してゐる付着試験方法である、土中供試体を用いた引抜き試験を行つた結果

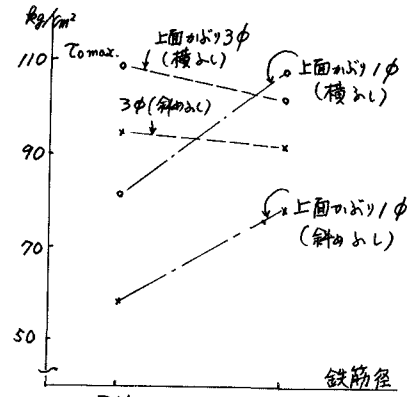


図-4 鉄筋径の影響

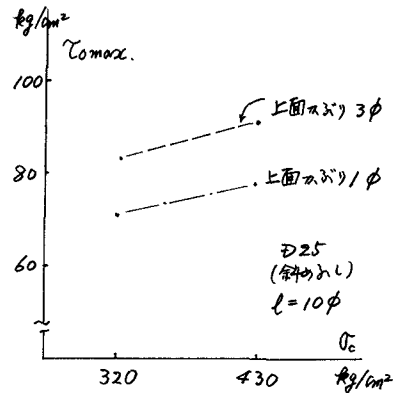


図-5 コンクリートの圧縮強度の影響

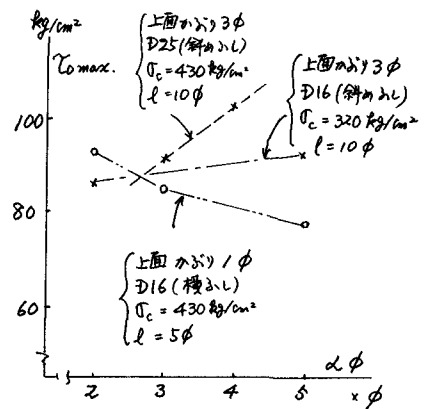


図-6 載荷板間隔の影響

果を同-7に示す。この方法は鉄筋の埋込み長さ l と鉄筋径 d の比例とされている。種方向補強量と鉄筋断面積に比例していること、および鉄筋自由端の変位量と鉄筋径と周囲コンクリートの尺径の平方根に比例する方式であること、等の問題があるが、ここでは横軸に同-2と同じく無次元数である相対変位量を用いて表示した結果、D16とD25とに対する力-相対変位量の関係は比較的よく一致した。本研究で提案している方法で得られた曲線と比較すると曲線の傾向は比較的類似である。

写真-1に実験に用いた厚肉供試体におし引板試験の破壊状態の一例を示す。

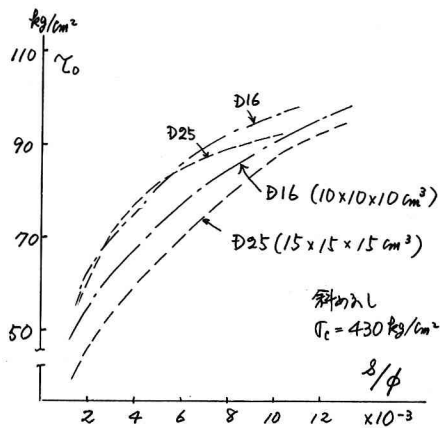


図-7 立方体供試体との比較

4. 付着試験方法に対する提案

種々の直径、鉄筋に付し簡単でしかも正確なデータ一般性ある測定値を得られるような付着試験方法として、および、埋込み長さ等が鉄筋径に比例するような引板試験について実験を行った結果、この方法が今後十分検討に値するものと思われる。本研究では鉄筋径をD16、D25の2種類しか変化させていないので十分な結論を得るには至っていないが本研究の範囲で次のような試験方法と試験値の評価を行なうのがよいと思われる。すなわち、供試体の幅 b と片側 a とを片側 a/ϕ とし、他側を $1 \sim 3\phi$ の間の一定値とする。鉄筋の埋込み長さ l は、供試体の寸法 a より大きくならないのがよいこと、鉄筋の能力 f_t をなるべく低い状態で試験するのがよいこと、等を考慮して $5 \sim 7\phi$ とする。供試体の幅は $5 \sim 7\phi$ とする。種方向鉄筋は引板と鉄筋の断面積に比例させて配置する。載荷板の間隔は 3ϕ とする。測定は鉄筋自由端の変位量 (δ) とダイヤルゲージであり、その値を鉄筋径で除した相対変位量 (δ/ϕ) を用いて整理する。付着能力 f_a -相対変位量の曲線から鉄筋と周囲のコンクリートとの間の付着係数と評価する。

以上の方法は立方体供試体にラセン鉄筋を配置する場合に比べて供試体の製作が容易であり有利な点が多いと思われる。鉄筋の付着状態は複雑であるが必ずしも一つの試験方法によってすべて評価することは容易でないが、ここでデータ力学的に一般性ある測定値を得られればそれに対応させて、ひびわれ分散性の評価も類推できるものと思われる。また引板試験によって得られた値と実際の構造部材の中での付着強さとを対応させることも重要であり、これによってほじめて鉄筋に要求される適当な表面形状も決定されるものと思われる。

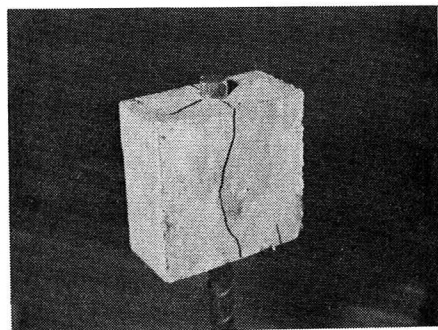


写真-1 供試体の破壊状態

5. おわりに

この研究は昭和44年度の卒業研究として参加した川島昌一君（現千葉県庁勤務）の熱心な協力を得て行なうことができた。ここに同君に謝意を表す次第である。また本研究に際し種々御指導を賜った東京都立大学村田二郎教授に厚く御礼を申し上げます。