

## 高強度鉄筋コンクリート部材中の重ね継手の付着割裂強度に関する研究

角 陸 純 一  
(技術研究所)

## §1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物では鉄筋の継手が必要であり、継手としては重ね継手、ガス圧接継手、機械的継手、溶接継手が設計施工条件に応じて使用されている。これらの継手工法の中で、重ね継手は他の継手と異なり、鉄筋とコンクリートとの付着を利用して接合する継手工法であり、異形鉄筋に重ね継手を設けた場合には付着割裂破壊の恐れから、建築学会の「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説<sup>1)</sup>(以下RC規準と称する)」では、D29以上の太径鉄筋での重ね継手の使用を原則として禁じている。したがって、重ね継手は主として細径鉄筋の継手として用いられてきた。近年、建築工事の合理化を図るため、太径鉄筋を使用したプレキャスト工法や鉄筋先組み工法が行なわれるようになってきたが、この場合部材端で多数の継手を同時に施工する必要がある。他の継手工法に比べ重ね継手が経済性と施工性に最も優れているため、太径鉄筋に重ね継手を使用したいという要望が高い。

近年、鉄筋コンクリート構造物の高層化に伴い、より高強度のコンクリートや鉄筋が使用される傾向にある。現行のRC規準はコンクリート強度で360kgf/cm<sup>2</sup>、鉄筋強度でSD390までしか対象としていないので、それ以上の高強度鉄筋コンクリート構造物に重ね継手を使用する場合には実験等で継手性能を確認しておく必要がある。これまで、重ね継手に関する数多くの実験が行なわれているが、ほとんどが普通強度の材料を使用しており、高強度材料を用いた重ね継手の実験は少ない<sup>2)</sup>。

構造設計法が従来の許容応力度設計法から終局強度型設計法へと移行しつつあるが、重ね継手に関する設計規定は許容応力度設計法にもとづいており、初版以来ほとんど改定が行なわれていない。終局強度型設計法では重ね継手耐力(付着割裂強度)の評

価が重要であるが、重ね継手に関する研究のほとんどは確認実験であり、付着割裂強度を定量的に検討した研究は見当たらない。

以上のことから、本研究では高強度鉄筋コンクリート部材を対象に、重ね継手性能を実験により確認した。検討にあたっては付着割裂強度に注目し、実験データを定量的に評価することにより、重ね継手性能への各種要因の影響を適切に評価できる付着割裂強度算定式を開発した。対象部材は、曲げモーメントにより鉄筋に引張応力が生じるようなはり部材や床スラブ部材とし、せん断力や軸力等を受けるような柱部材や壁部材は対象外とする。

## §2. 重ね継手の力学的性状

鉄筋コンクリート部材中の鉄筋は自重や外力により引張りまたは圧縮応力を受けている。重ね継手は鉄筋とコンクリートとの付着を利用する継手工法であるが、異形鉄筋の場合には鉄筋表面の接着力が小さく、付着力のほとんどは鉄筋表面の節と周囲のコンクリートとの機械的な噛み合い作用によるものと考えられる。鉄筋に引張応力が生じると、継手筋は周囲のコンクリートに対して互いに滑り出そうとするが、鉄筋の節とコンクリートが噛み合って滑りが抑制される。この噛み合い作用により、図-1に示すように鉄筋の節から周囲のコンクリートへ放射状に斜め方向の支圧力が生じる。この支圧力を鉄筋軸に平行な成分と直交する成分に分けた場合、軸方向成分が付着力に相当し、直交成分は周囲のコンクリ

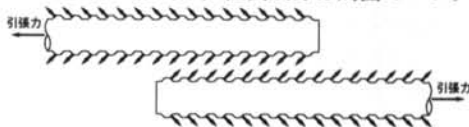


図-1 継手部の応力状態

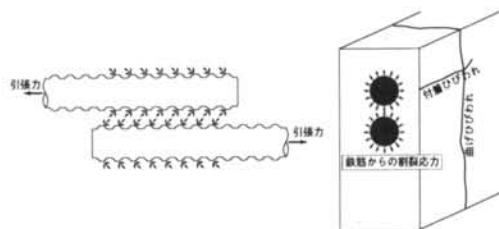


図-2 放射応力とひびわれ



図-3 重ね継手部材の性能種別

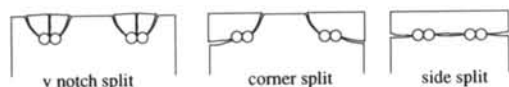


図-4 付着割裂破壊タイプ

ートを押し広げようとする割裂応力に相当する。この割裂応力により周囲のコンクリートには鉄筋軸に対して円周方向に引張応力が生じる。鉄筋に生じる応力が大きくなると付着力も大きくなるが、同時に割裂応力も大きくなり、円周方向の引張応力がコンクリートの引張強度を越えるとひび割れが生じる。このひび割れは鉄筋に沿って生じ、付着ひびわれと称する。継手筋の場合継手端部の付着応力が大きいので、付着ひびわれは最初端部に生じ、鉄筋応力の増大に伴い徐々に継手内部へと進展する。重ね継手部全長にわたって付着ひびわれが生じると、かぶりコンクリートは継手筋を拘束しきれなくなり、一気に継手筋が滑り出し、急激に耐力が低下する。このような破壊を付着割裂破壊と称するが、この破壊は極めてぜい性的であるため、継手を設計する場合にはその付着割裂強度を把握しておく必要がある。

重ね継手を有する鉄筋コンクリート部材の破壊は、図-3に示すように、継手は破壊せずに鉄筋が曲げ降伏破壊するタイプ、鉄筋降伏後大きな変形を生じた後付着割裂破壊するタイプ、そして鉄筋降伏前に付着割裂破壊するタイプの3タイプに分けられる。終局強度型耐震設計指針<sup>3)</sup>は、建物各層の梁端および1階柱脚部に降伏ヒンジを設定する部材端降伏機

構を想定しており、部材端に重ね継手を設けた場合には、鉄筋が降伏するまで重ね継手が付着割裂破壊しないことが要求される。

かぶりコンクリートが割裂する付着割裂破壊には図-4に示すような3タイプがあるが、これらはかぶり厚さと鉄筋間隔に関係している。また、付着ひびわれの発生はコンクリートの強度にも関係している。さらに、継手部の横補強筋量が十分であれば、付着ひびわれが生じた後も継手筋を拘束することができ、継手耐力が増すものと考えられる。このように、継手性能は数多くの要因に影響されており、継手性能を評価する場合にはこれらの要因の影響を適切に把握する必要がある。

### §3. 実験概要

本研究では、3シリーズの実験を行なった。フェーズI実験では重ね継手性能への種々の要因の影響を検討した。検討した要因は、鉄筋強度、コンクリート強度、重ね長さ、かぶり厚さ、鉄筋間隔、継手筋のあき、横補強筋の有無、継手位置(上端筋と下端筋)で、試験体数は曲げ実験Iが31体、曲げ実験IIが18体、両引実験Iが51体、両引実験IIが42体である(試験体のパラメータ及び実験結果一覧は文献4)と5)を参照)。図-5に試験体の1例を示すが、試験体に使用した主筋はD19鉄筋で、降伏点強度が5000kgf/cm<sup>2</sup>以上のものについては市販の鉄筋を熱処理により強度を高めたものを使用した。

フェーズII実験では、重ね継手性能への横補強筋の拘束効果の影響を検討した。検討した要因は、鉄筋強度、コンクリート強度、補強筋の径と間隔で、試験体数は曲げ実験が8体、両引実験が44体である(試験体のパラメータ及び実験結果一覧は文献6)を参照)。図-6に試験体の1例を示すが、試験体に使用した主筋はフェーズI実験と同じくD19鉄筋で、市販の鉄筋を熱処理により強度を高めたものを使用した。また、かぶり厚さは1.5d<sub>b</sub>(d<sub>b</sub>:鉄筋径)とした。

フェーズIII実験では大径鉄筋の壁筋を対象に重ね継手性能を検討した。検討した要因は、鉄筋強度、コンクリート強度、継手の有無、直交筋の有無、継手のあき、重ね長さ、鉄筋間隔で、試験体数は曲げ実験が6体、両引実験が8体である(試験体のパラメータ及び実験結果一覧は文献7を参照)。図-7

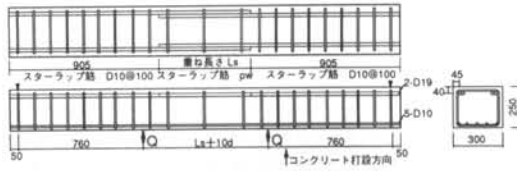


図-5 曲げ実験試験体図

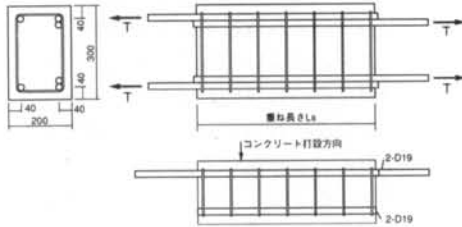


図-6 両引実験試験体図

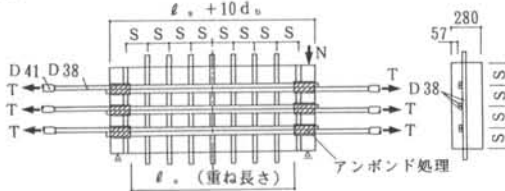


図-7 太径両引実験試験体図

に試験体の1例を示すが、試験体に使用した主筋はD38鉄筋で、曲げ実験ではかぶり厚さを $2.5d_b$ 、両引実験ではかぶり厚さを $1.5d_b$ とした。

加力方法として、曲げ実験では変形性能等を含む部材全体としての構造特性の検討に重点を置き、継手が一定曲げモーメント部にあり、かつ、引張応力のみを受けるように、荷重制御で一方方向の繰り返しによる2点集中荷重を行なった。両引実験では主に付着割裂強度の評価に重点を置き、試験体から突き出た鉄筋をジャッキを用いてそれぞれ単独に両側から引張り繰り返し荷重を行なった。

#### § 4. 重ね継手を有する部材の力学的性状

図-8に剛性と曲げ変形の関係を示しているが、重ね継手部では鉄筋が重ね合わされているため、重ね継手を有する部材では初期剛性が高い。ただし、曲げひびわれ発生後は継手有無の差異は見られず、継手のすべり等による剛性の低下も見られない。図-9には最大鉄筋応力が約 $4000 \text{ kgf/cm}^2$ での一定曲げモーメント部の軸方向の区間内変位量を継手有無

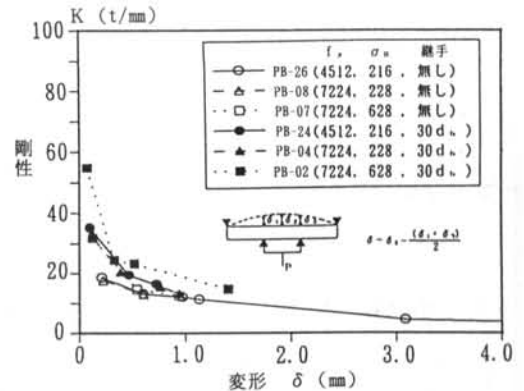


図-8 曲げスパン内の剛性

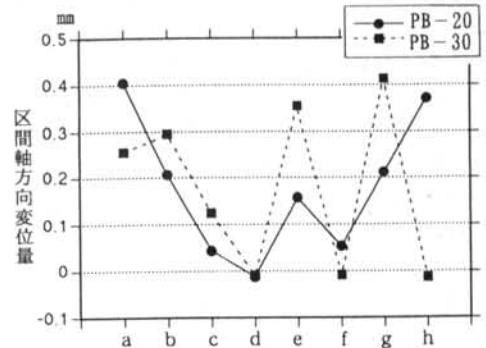


図-9 曲げスパン内の軸方向変形

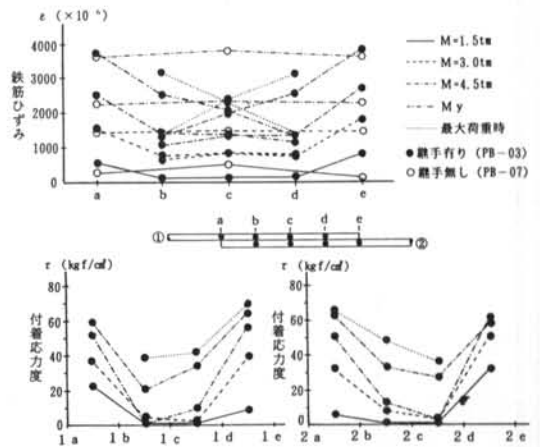


図-10 鉄筋ひずみ分布と付着応力分布で比較して示している。継手無し試験体ではほぼ等しい幅のひびわれが生じており、平均的には一様な変位量であるが、継手有り試験体では継手端部の変位量が大きくなっている。図-10には継手部の鉄筋ひずみ分布とひずみ差から求めた付着応力度分布を示している。荷重が小さいレベルでは継手両端部の

ひずみ勾配が大きく、中央部ではほぼ一定のひずみ分布となっており、付着応力度分布は凹型形状となる。荷重の増加に伴い、継手中央部のひずみが徐々に増加し、破壊直前には継手中央部もほぼ一定のひずみ勾配となり、付着応力度分布は継手全体でほぼ一定となる。

## § 5. 重ね継手性能への諸要因の影響

### 5.1 コンクリート強度の影響

図-11には重ね長さ $30d_b$ の試験体について付着応力度比（区間付着応力度/継手部全体の平均付着応力度）分布を示している。コンクリート強度が高い試験体ほど付着応力度比は継手端部で大きく、中央部で小さな分布となっており、荷重レベルが小さいほどその傾向が大きい。これより、コンクリート強度が高い試験体ほど継手端部での付着力負担が大きいと考えられる。図-12には横補強筋が無い試験体について、図-13には横補強筋を有する試験体（ $p_w=0.2\%$ ）について、付着割裂強度とコンクリート強度の関係を示している。図中には重ね長さ $30d_b$ の試験体について実験値を近似した結果を実線で、既往の付着割裂強度算定式として提案されているOrangunらの式<sup>8)</sup>による計算値を破線で、藤井らの式<sup>9)</sup>による計算値を一点鎖線で示している。いずれの図でもコンクリート強度が高いほど付着割裂強度が大きくなっているが、補強筋の有無によりコンクリート強度に対する付着割裂強度の増加度が異なっていることがわかる。既往式はいずれも付着割裂強度がコンクリート強度の平方根に比例する形であるが、横補強筋が無い場合には付着割裂強度実験値はコンクリート強度の0.2乗から0.3乗の値に比例しており、横補強筋が有る場合には付着割裂強度実験値はコンクリート強度の0.5乗から0.7乗の値に比例し

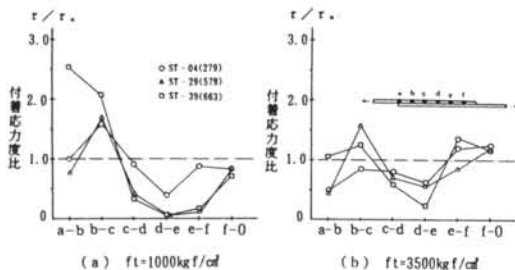


図-11 付着応力度比分布

ている。

### 5.2 重ね長さの影響

図-14には重ね長さの異なる試験体について継手筋のひずみと付着応力度分布の変化を示している。付着応力度分布は荷重が小さいレベルでは継手両端が大きい凹型形状であり、破壊直前にはほぼ一定となるが、詳細に見れば、荷重端部は逆に減少していることがわかる。これは継手端部の付着性能が劣化していることを示しているものと考えられる。付着割裂強度は継手部の付着応力度が一定であると仮定することにより平均付着応力度として算定するが、実際には端部の付着性能が劣化しているため、平均付着応力度は実際よりも大きめに算定されるものと考えられる。劣化域が重ね長さにかかわらず一定であるとすると重ね長さが短いものほどその差異が大きくなり、平均付着応力度がより大きく算定されるものと考えられる。図-15には付着割裂強度と重ね

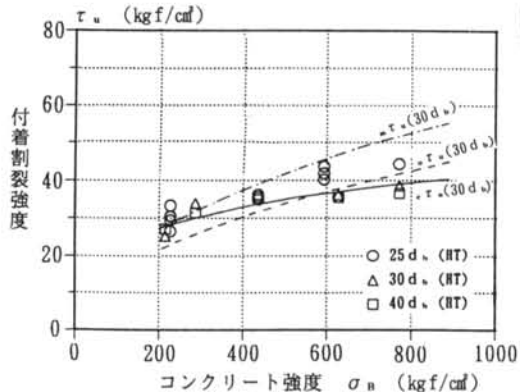


図-12 付着強度-コンクリート強度関係 ( $p_w=0\%$ )

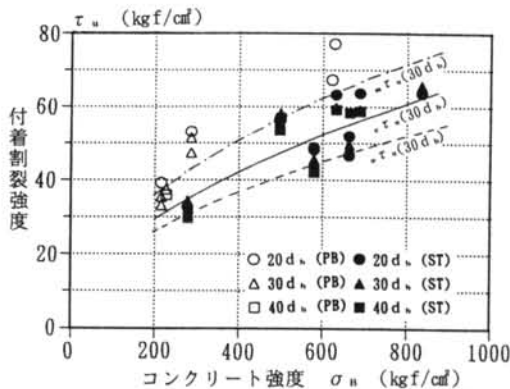


図-13 付着強度-コンクリート強度関係 ( $p_w=0.2\%$ )

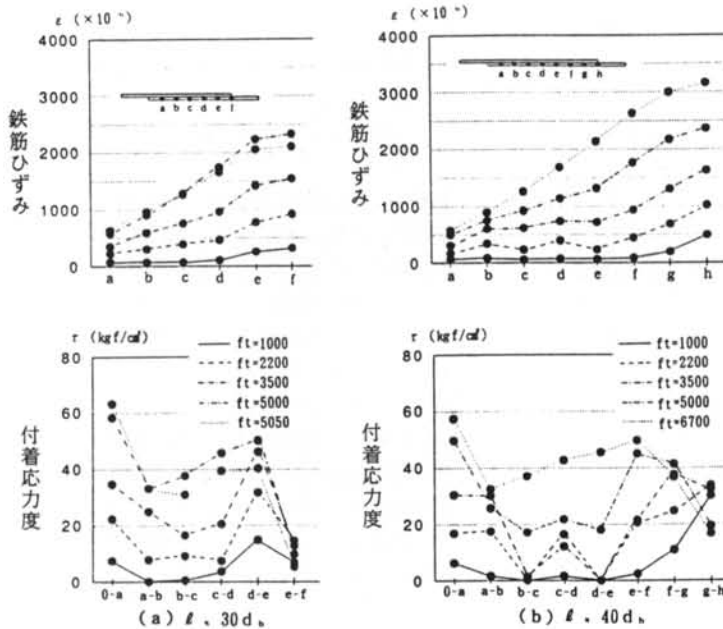


図-14 鉄筋ひずみ分布と付着応力分布の比較

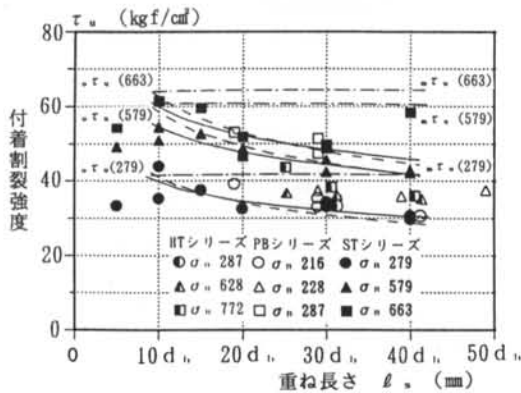


図-15 付着強度—重ね長さ関係

長さの関係を示しているが、引き抜き破壊的であった重ね長さ $5d_b$ の試験体を除いて、重ね長さが短いものほど付着割裂強度が大きくなっている。図中には実験値の近似値を実線で、既往式による計算値を破線と一点鎖線で示しているが、藤井らの式では重ね長さが考慮されていないので重ね長さにかかわらず付着割裂強度は一定値となるが、重ね長さの影響を考慮したOrangunらの式による計算値は実験値とよく一致している。

### 5.3 かぶり厚さと鉄筋間隔の影響

付着割裂破壊は鉄筋とコンクリート表面、あるいは

は隣りあう鉄筋を連なるひびわれが生じて起こるものであり、その強度にはかぶり厚さと鉄筋間隔が影響するものと考えられる。図-16には鉄筋表面間隔が $12d_b$ 、側面かぶり厚さが $4.2d_b$ の試験体について付着割裂強度と表面かぶり厚さの関係を示している。

Orangunらの式ではかぶり厚さが $2.5d_b$ を適用限界と考えているが、実験では付着割裂強度はかぶり厚さが $3.5d_b$ までかぶり厚さにほぼ比例して増加していることが確認された。

図-17にはかぶり厚さが $1.5d_b$ の試験体について付着割裂強度と鉄筋表面間隔の関

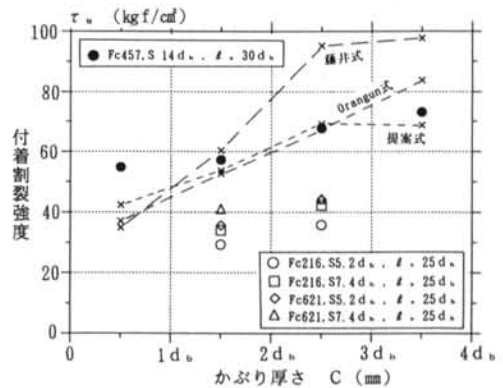


図-16 付着強度—かぶり厚さ関係

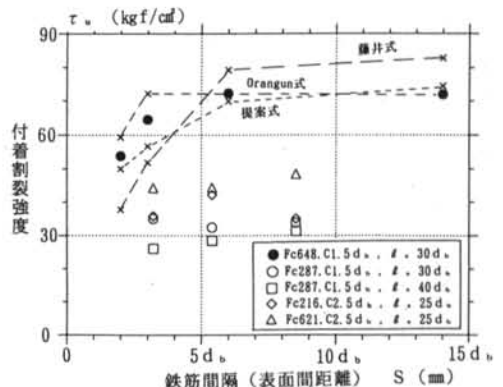


図-17 付着強度—鉄筋間隔関係

係を示している。鉄筋間隔が大きくなるほど付着割裂強度が大きくなっているが、鉄筋間隔が $6d_b$ 以上では付着割裂強度は一定であり、かぶり厚さが $1.5d_b$ の場合鉄筋間隔が約 $4d_b$ 以上で付着割裂強度は頭打ちになるものと思われる。

#### 5.4 継手筋のあきの影響

鉄筋の先組み工法では施工上の誤差等から重ね継手筋間にあきが生じることがある。継手筋間のあきの影響を検討した既往の研究はほとんどが降伏破壊した実験であり、付着割裂強度へのあきの影響は定かではない。図-18にあき間隔と付着割裂強度の関係を示すが、あき間隔が $1d_b$ 程度では継手筋周囲のコンクリートの充填度が良いためか密接した場合に

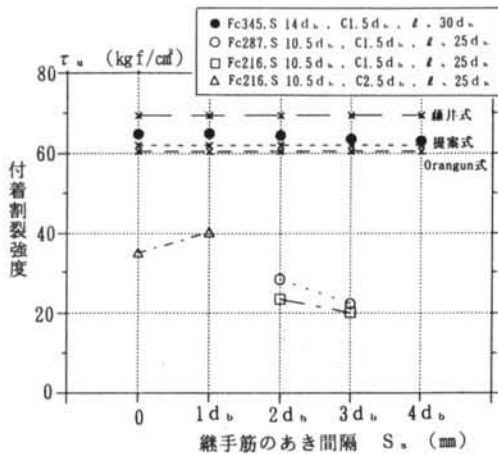


図-18 付着強度—あき間隔関係

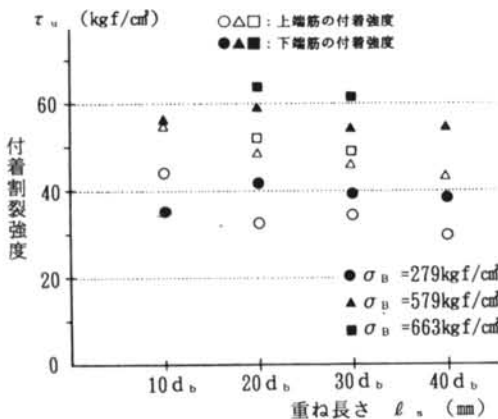


図-19 鉄筋位置による付着強度比較

比若干付着割裂強度が上まわっており、それ以上のあきがある付着割裂強度が低下している。ただし、曲げ実験ではその低下はわずかであり、付着割裂強度へのあきの影響は小さいと言える。

#### 5.5 鉄筋位置 (上端筋と下端筋) の影響

普通強度コンクリートの場合、型枠内での鉄筋の位置により付着強度が異なることが知られており、RC標準では上端筋 (鉄筋下に30cm以上のコンクリートが打ち込まれる水平鉄筋) と下端筋とで異なる許容付着応力度を規定している。既往の付着割裂強度式でも例えば藤井らの式では下端筋に対しては算定値に1.22を乗じるものとしている。図-19にはコンクリート強度と重ね長さの異なる試験体について付着割裂強度を示しているが、高強度コンクリートにおいても重ね長さにかかわらず下端筋の付着割裂強度は上端筋の場合より大きく、その比は約1.24であった。

#### 5.6 横補強筋の拘束効果

横補強筋が有ると付着ひびわれが生じた後も鉄筋を拘束し、鉄筋とコンクリートとの機械的な噛み合いが維持されるため、付着割裂強度がより大きくなるものと考えられる。既往の付着割裂強度式は、横補強筋による付着割裂強度増分を横補強筋が無い場合の付着割裂強度に加える形で横補強筋の影響を考慮している。いずれの式でも付着割裂強度増分は横補強筋の断面積とコンクリート強度の平方根に比例し、補強筋間隔と主筋径に反比例する形としているが、Orangunらの式で補強筋の降伏点が考慮されている点と、藤井らの式で割裂パターンの違いによる

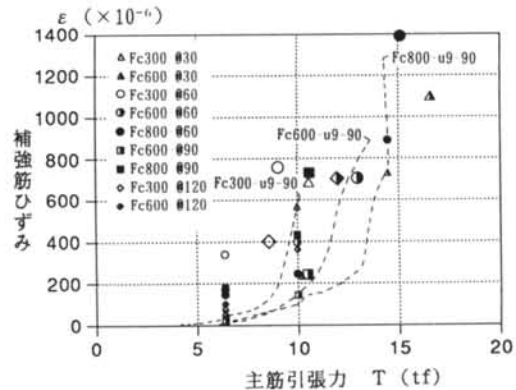


図-20 横補強筋ひずみ値の比較

補強筋の拘束効果の差異を表す係数kが考慮されている点が異なっている。

図-20には継手端部の横補強筋のひずみと主筋の引張力の関係を示している。補強筋のひずみは主筋の引張力がある程度の大きくなってから生じはじめ、破壊直前に急増している。ただし、破壊時においてもそのひずみ値は最大で $1400 \times 10^{-6}$ 程度であり降伏はしていないことがわかる。

図-21にFc300試験体、図-22にFc600とFc800試験体の付着割裂強度と補強筋比の関係を示しているが、実験で検討した補強筋比1.0%までは補強筋比に比例して付着割裂強度が増加すること、補強筋比が小さいレベルでは同じ補強筋比でも補強筋間隔が小さい試験体のほうが付着割裂強度が大きくなることわかる。

図-23には付着割裂強度とコンクリート強度の関係を示す。同じ補強筋比の試験体について実験値を近似すると次式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} p_w=0\% & \tau_u=3.392\sigma_B^{0.39} (R=1.00) \\ p_w=0.24\% & \tau_u=2.029\sigma_B^{0.49} (R=0.95) \\ p_w=0.36\% & \tau_u=2.078\sigma_B^{0.53} (R=0.99) \\ p_w=0.47\% & \tau_u=1.938\sigma_B^{0.56} (R=0.95) \\ p_w=0.73\% & \tau_u=2.207\sigma_B^{0.56} (R=0.99) \\ p_w=0.98\% & \tau_u=1.244\sigma_B^{0.67} (R=0.99) \end{aligned} \right\}$$

コンクリート強度の影響を検討した結果、補強筋の有無によりその関係が異なることを指摘したが、補強筋比の影響を詳細に検討した結果、補強筋比が高いほどコンクリート強度の影響が大きくなること図よりわかる。図-24には補強の方法と付着割裂タイプの異なる試験体について付着割裂強度と補強筋間隔の関係を示している。nとwタイプの試験体がCorner split modeの破壊であるが、Corner split modeの破壊の場合wタイプのような補強方法はあまり効果が見られない。また、sタイプの試験体はV-notch split modeの破壊であるが、Corner split modeの場合に比べ効果が小さいものの、V-

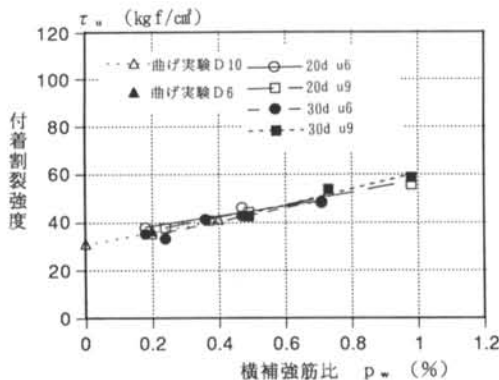


図-21 付着強度—横補給筋比関係( $F_c=300$ )

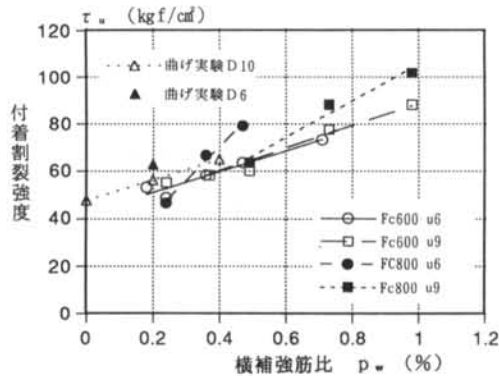


図-22 付着強度—横補給筋比関係( $F_c=300$ )

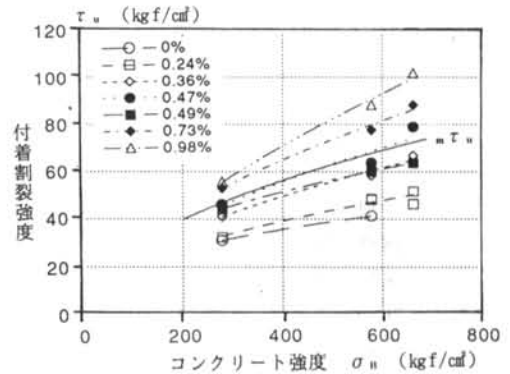


図-23 付着強度—コンクリート強度関係

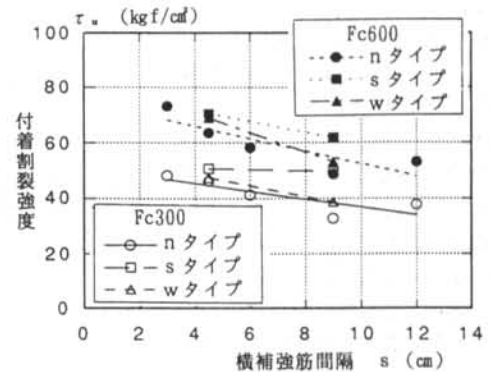


図-24 付着強度—横補給筋間隔関係

notch split modeの破壊においても補強筋の拘束効果が見られた。

## § 6. 重ね継手の付着割裂強度式の提案

### 6.1 既往式の概要

重ね継手も含めた鉄筋コンクリート構造物の付着実験から種々の付着割裂強度式が提案されている。特に最近ではside split modeの破壊を対象にいくつかの付着割裂強度式が提案されている<sup>10)~14)</sup>が、それらは藤井らの式やOrangunらの式をもとに、横補強筋の拘束効果をより適切に評価できるように改良したものがほとんどである。そこで、Orangunらの式と藤井らの式を用いて既往の実験データとの適合性を検討した。図-25には付着割裂強度比（計算値/実験値）とコンクリート強度の関係を示している。計算値と実験値との差異が大きいデータについて詳細に原因を検討した結果、それぞれかぶり厚さや重ね長さの評価等に問題があることがわかった。また、高強度の実験データではいずれも計算値の方が大きめになり、適合性が良くないことがわかった。

### 6.2 付着割裂強度式の提案と検証

既往の付着割裂強度式の中には横補強筋の拘束効果をかぶりコンクリートの役割と同じと考え、横補強筋の剛性分に対応してみかけのかぶり厚さを増す方法も提案されている<sup>15)</sup>が、実験の結果、付着ひびわれが生じた後に横補強筋の拘束効果が発揮されることが確認された。

そこで、Orangunや藤井らと同じように、付着割裂強度 $\tau_u$ を横補強筋の無い場合の付着割裂強度 $\tau_{co}$ と横補強筋による付着割裂強度増分 $\tau_{st}$ の和と考える方がより適切だと考えられる。かぶり厚さと鉄筋間隔の評価に関してはOrangunらの式では若干問題があり、藤井らと同様に割裂パターンの違いを考慮する係数 $b_i$ を採用する。重ね長さに関しては藤井らは考慮していないが、実験では重ね

長さの影響が認められたのでOrangunらと同様に重ね長さの影響を評価する。コンクリート強度に関してはいずれの式も付着割裂強度がコンクリート強度の平方根に比例すると考えているが、実験の結果、横補強筋が無い場合には付着割裂強度はコンクリート強度の0.2から0.3乗の値に比例することが確認されたので、ここでは付着割裂強度がコンクリート強度の0.3乗の値に比例すると考える。以上の考え方で高強度鉄筋コンクリート部材での実験データを定量的に検討した結果、横補強筋の無い場合の付着割裂強度 $\tau_{co}$ が次式で得られる。

$$\tau_{co} = \left( 2.7 + 0.5b_1 + 25.0 \frac{d_b}{l_s} \right) \sigma_B^{0.3} \quad \dots\dots(1)$$

$b_1$ は $b_{v1}$ ,  $b_{c1}$ ,  $b_{s1}$ の最小値

$$b_{v1} = \sqrt{3} \left( \frac{2c_{min}}{d_b} + 1 \right)$$

$$b_{c1} = \sqrt{2} \left( \frac{c_s + c_b}{d_b} + 1 \right) - 1$$

$$b_{s1} = \frac{b}{Nd_b} - 2$$

ここで、 $c_s$ ：側面かぶり厚さ、 $c_b$ ：表面かぶり厚さ、 $c_{min}$ ：最小かぶり厚さ（ $c_s$ と $c_b$ の小さい方の値）、 $d_b$ ：鉄筋径（呼び名に用いた数値）、 $l_s$ ：重ね

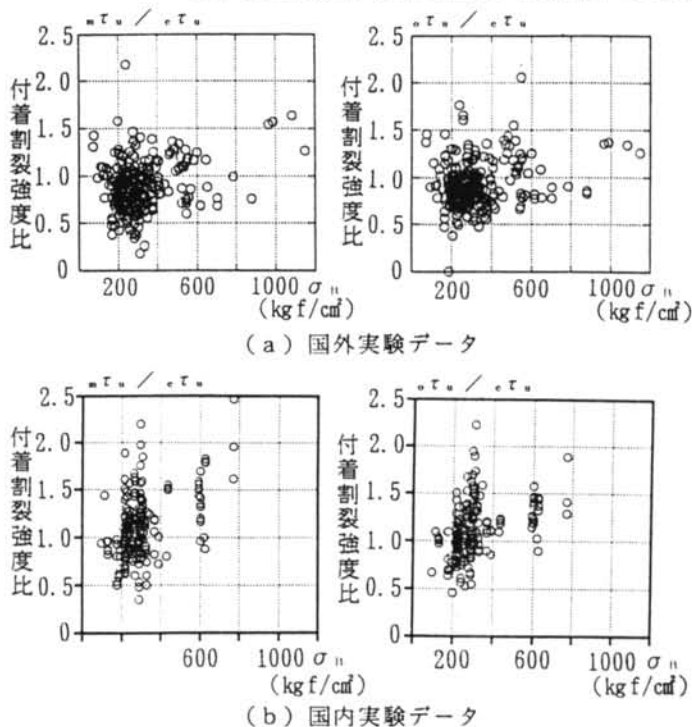


図-25 付着強度比-コンクリート強度関係



長さ、 $b$ ：はり幅（いずれも cm）、 $\sigma_B$ ：コンクリート圧縮強度（kgf/cm<sup>2</sup>）、 $N$ ：継手筋数

横補強筋の拘束効果は補強筋量に影響されることが実験で確認された。Orangunらは横補強筋の降伏点を考慮しているが、実験の結果、付着割裂破壊時においても横補強筋は降伏しないことが確認されたので、横補強筋の降伏点は拘束効果に関係しないと考えられる。図-26には付着割裂強度増分と横補強筋量の関係を示すが、付着割裂強度増分は付着割裂強度実験値から(1)式で計算される横補強筋の無い場合の付着割裂強度値を減じた値として算定した。図より、付着割裂強度増分は横補強筋量に比例し、その増加度は重ね長さには関係せず、コンクリート

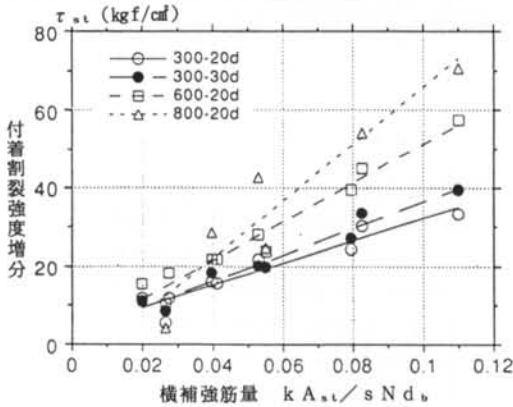


図-26 付着強度増分—横補給筋量関係

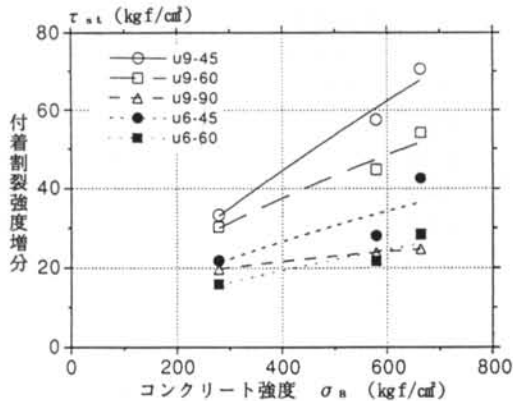


図-27 付着強度増分

強度に関係することがわかる。付着ひびわれが生じた後、横補強筋が継手筋を拘束することにより鉄筋表面の節と周囲のコンクリートとの機械的なかみ合いが維持されると考えられる。この場合鉄筋の節から周囲のコンクリートへは斜め方向の支圧応力が作用している。したがって、付着割裂強度増分はコンクリートの圧縮強度そのものに比例するものと考えられる。

図-27には付着割裂強度増分とコンクリート強度の関係を示すが、付着割裂強度増分がコンクリート強度にほぼ比例しているのがわかる。

藤井らは割裂パターンの違いによる拘束効果の差異を表す係数 $k$ を考慮しているが、V-notch split modeの場合には $k=0$ とし、拘束効果が無いと考えている。しかしながら、実験の結果V-notch split modeの場合でも横補強筋の拘束効果が認められた。図-28には割裂パターンの違いによる横補強筋の拘束メカニズムを示すが、V-notch split modeの場合には横補強筋はダボ的な拘束効果を示すものと考えて係数 $k$ の値を定める。

以上の考え方で実験データを定量的に検討した結果、横補強筋の付着割裂強度増分 $\tau_{st}$ が次式で得られる。ただし、補強筋比1.0%以上の実験データが無いことと、それ以上の補強筋比ではコンクリートの充填性も良くないと考えられることより、補強筋

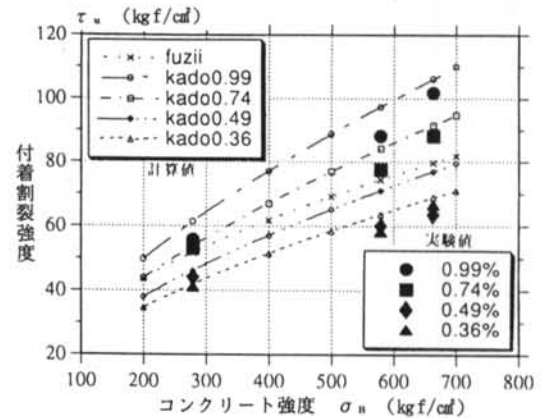


図-29 付着強度—コンクリート強度関係

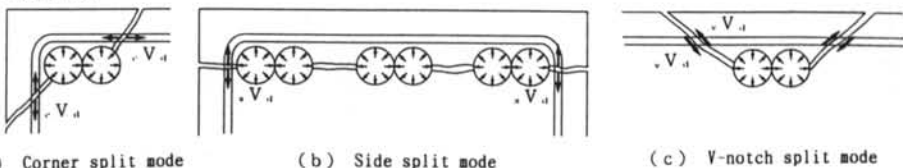


図-28 異なる割裂破壊モードにおける横補強筋の拘束メカニズム

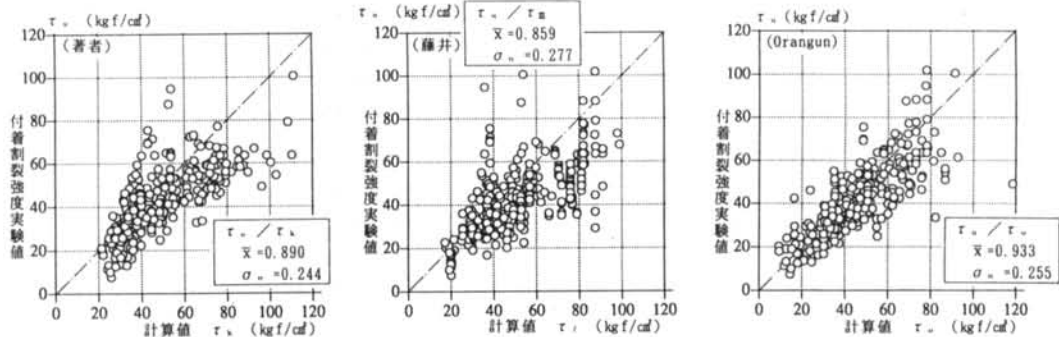


図-30 付着割裂強度実験値と計算値の比較  
比1.0%を拘束効果の限界値と定める。

$$\tau_{st} = 1.8 \frac{k A_{st}}{s N d_b} \sigma_B < 0.2 \sigma_B \quad \dots\dots(2)$$

kは以下の値とする。

$$b_1 = b_{v1} \text{の時} \quad k = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

$$b_1 = b_{c1} \text{の時} \quad k = \sqrt{2}$$

$$b_1 = b_{s1} \text{の時} \quad k = 1$$

ここで、 $A_{st}$ ：1組の横補強筋全断面積 (cm<sup>2</sup>)、  
s：横補強筋間隔 (cm)

図-29には横補強筋の影響を検討した実験データについて付着割裂強度とコンクリート強度の関係を示している。図中には藤井らの式と提案式による計算値も示すが、藤井らの式では補強筋比が約0.3%以上では拘束効果の限界値となるので曲線は一つしか得られない。実験結果は補強筋量が多いほどコンクリート強度の影響が大きくなることを示しているが、藤井らの式ではたとえ拘束効果の限界を設けなくても補強筋量にかかわらずコンクリート強度の平方根に比例する付着割裂強度値が算定されるのに対し、提案式による計算値は横補強筋量が多いほどコンクリート強度の影響度が大きくなるという実験結果を良く反映している。

図-30には既往の実験データについて、実験値と計算値の比較を示すが、提案式は既往式と比べ適合性が良いことがわかる。

## §7. まとめ

高強度鉄筋コンクリート部材を対象とした重ね継手実験の結果を定量的に評価し、付着割裂強度式を導いた。提案式は既往式と同様に横補強筋の無い場合の付着割裂強度と横補強筋による付着割裂強度増分の和の形であるが、横補強筋の無い場合の付着割裂強度がコンクリート強度の0.3乗に比例し、横補強筋による付着割裂強度増分がコンクリート強度に比例する形である点が大きく異なっている。また、重ね長さの影響を考慮した点と3タイプの付着割裂モードに対して横補強筋の拘束効果の差異を考慮する係数kの値を定めた点が特徴として上げられる。横補強筋の量により付着割裂強度へのコンクリート強度の影響度が異なるということが実験で確認されたが、提案式によりこの傾向を良く表すことができ、提案式による算定値は実験値と良く一致することが確認された。

### ＜参考文献＞

- 1) 日本建築学会：“鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説” (1991年)
- 2) 角陸純一、田中礼治：“異形鉄筋重ね継手に関する既往実験データの分析” 日本建築学会構造系論文報告集 第435号 (1992年) pp.131~139
- 3) 日本建築学会：“鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説” (1993年)
- 4) 角陸純一：“高強度鉄筋コンクリート部材中の重ね継手の性状に関する研究” 日本建築学会構造系論文報告集 第453号 (1993年) pp.123~130
- 5) 角陸純一：“高強度鉄筋コンクリート部材中の重ね継手性能へのかぶりコンクリートの影響に関する研究” 日本建築学会

構造系論文報告集投稿中

- 6) 角陸純一：“高強度コンクリート中の重ね継手の付着割裂強度に対する横補強筋の影響に関する研究”日本建築学会構造系論文報告集 第455号(1994年) pp.167~174
- 7) 角陸純一：“高強度太径壁筋重ね継手の付着割裂強度に関する研究, 日本建築学会構造系論文報告集”第456号(1994年) pp.51~58
- 8) Orangun, C.O., Jirsa, J.O. and Breen, J.E. : “A Reevaluation of Test Data on Development Length and Splices” , ACI Journal, Proc. Vol.74 (1977) pp.114~122
- 9) 藤井 栄, 森田司郎：“異形鉄筋の付着割裂強度に関する研究 第2報 付着割裂強度算定式の提案”日本建築学会構造系論文報告集 第324号(1983年) pp.45~53
- 10) 角徹三, 山田守, 合衆将三：“鉄筋コンクリート部材の付着割裂強度算定式の提案”日本建築学会構造系論文報告集 第414号(1990年) pp.23~33
- 11) 角徹三, 張建東, 飯塚信一, 山田守：“高強度コンクリートレベルをも包含するRC部材の付着割裂強度算定式の提案”コンクリート工学論文集 第3巻 第1号(1992年) pp.97~108
- 12) 小谷俊介, 前田匡樹, 青山博之：“鉄筋コンクリート部材の付着割裂破壊に関する研究(その1 付着割裂強度)”日本建築学会大会学術講演梗概集(1992年) pp.921~922
- 13) 市之瀬敏勝, 横尾慎一：“高強度鉄筋コンクリートを用いたRC部材の付着割裂実験”コンクリート工学年次論文報告集 Vol.14 No.2(1992年) pp.75~80
- 14) 熊谷信太郎, 角徹三, 福田拓也：“RC部材の付着割裂強度算定式の提案”日本建築学会大会学術講演梗概集(1992年) pp.913~914
- 15) 三浦尚, 鈴木知洋：“鉄筋の重ね継手強度における横方向鉄筋の効果について”土木学会論文集 第378号(1978年) pp.53~59