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

THE BEHAVIOR OF LAP SPLICES IN HIGH-STRENGTH
REINFORCED CONCRETE MEMBERS

角 陸 純 一*

Junichi KADORIKU

The behavior of lap splices in high-strength reinforced concrete beams is described. The results from 23 bending test specimens, 25 pull out test specimens without transverse reinforcement, and 42 pull out test specimens with reinforcement are presented. The main variables studied were yield strength of the main bars, concrete strength, and the lap length. The results show that that shorter lap length and higher concrete strength develop greater bond splitting strength.

Keywords: lap splices, bond, splitting, beam, test, high-strength,

重ね継手, 付着, 割裂, はり, 実験, 高強度

1. はじめに

各種鉄筋継手工法の中で、重ね継手は比較的細い鉄筋の継手として、スラブ筋や壁筋等に主に用いられてきたが、鉄筋先組み工法の採用や構造物の大型化、高層化に伴い、より高強度かつ太径鉄筋の継手として、経済性、施工性に優れた重ね継手を使用しようという要望が高くなっている。重ね継手は鉄筋とコンクリートとの付着を利用して継手としての一体化を図るメカニズムであり、その継手性能は継手部周囲のコンクリートを含めた種々の要因に影響される。また、異形鉄筋に重ね継手を設けた場合、継手部に大きな応力が生じると周囲のかぶりコンクリートがぜい性的に割裂する付着割裂破壊となることが多い。このような理由から構造性能面での信頼性が低く、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（1988年）では、D29以上の太径鉄筋での重ね継手の使用を制限している。また、対象としている設計規準強度の上限としては、コンクリートに関しては 360 kgf/cm²、鉄筋に関しては SD390であり、より強度の高い高強度鉄筋コンクリート部材に重ね継手を設ける場合に

は実験等によりその構造性能を確認する必要がある。

重ね継手に関する実験研究はこれまで数多く行われているが、そのほとんどは普通強度の材料を使用したものであり、高強度鉄筋を使用した研究としては、国外では R. Tepferらの研究¹⁾、国内では SD490鉄筋を使用した田中らの研究²⁾や著者らの研究^{3) 4)}があるものの、継手性能の定量的検討は十分とは言えない。また、設計法が終局強度設計法へと移行しつつある現在、重ね継手の設計においては付着割裂強度の評価が重要と考えられる。

そこで、本研究では鉄筋強度（降伏点）で7000kgf/cm²コンクリート強度で 800kgf/cm²程度までの高強度鉄筋コンクリート部材を対象として、引張り応力場での重ね継手性状を検討した。重ね継手の性状は種々の要因の影響を受けるが、本論文ではこれらの要因の中で材料強度と重ね長さを主な検討パラメータとし、重ね継手を有する高強度鉄筋コンクリート部材の変形性能やびびわれ性状付着応力性状等へのそれらの影響を明らかにするとともに、付着割裂強度へのそれらの影響を定量的に検討した結果について述べる。

* 清水建設技術研究所・工修

Institute of Technology, Shimizu Corporation, M. Eng.

を用いて両側から繰返し引張る載荷を行った。荷重履歴は、鉄筋応力 $f_t = 1000, 2000, 3000 \text{ kgf/cm}^2$ で3回、鉄筋降伏後は降伏時変形の1.0, 2.0, 5.0倍の検査間変形で3回づつの繰返しとした。

2. 3 両引実験2 (STシリーズ)

横補強筋を有する場合での重ね継手強度を検討したもので、図-3に代表的な試験体図を示す。全試験体とも主筋の降伏前に付着割裂破壊をさせるべく、主筋には熱処理により強度を高めたD19鉄筋 ($\sigma_y = 8600 \text{ kgf/cm}^2$, 0.2%耐力) を用い、corner split型の破壊を想定し、表面と側面かぶり厚さを $1.5d_b$ 、鉄筋ピッチを $11.6d_b$ とし、継手部の補強筋量を0.2%とした。コンクリートは $b \times D = 30 \times 20 \text{ cm}$ の試験体については継手筋が下となるように平打ちで打設した。検討した要因は、コンクリート強度、重ね長さ、継手位置 (上下端筋) であり、表-

図-2 両引実験I試験体図

(a) $D = 20 \text{ cm}$ 試験体

(b) $D = 40 \text{ cm}$ 試験体

図-3 両引実験II試験体図

3に試験体一覧を示す。

加力は両引実験1と同じ方法により、 $f_t = 2200, 3500, 5000, 7000 \text{ kgf/cm}^2$ で3回づつの繰返し載荷を行った。

表-3 両引実験II試験体パラメータと結果一覧

試験体 記号	パラメータ			実験結果			
	σ_B kgf/cm ²	L_s kgf/cm ²	D^{*2} cm	f_c kgf/cm ²	f_s kgf/cm ²	f_u kgf/cm ²	τ_u kgf/cm ²
ST-01	279	5 d _b	20	—	—	662	33.3
ST-02	279	10 d _b	20	—	—	1394	35.1
ST-03	279	15 d _b	20	—	—	2230	37.4
ST-04	279	30 d _b	20	1777	3171	3937	33.0
ST-05	279	40 d _b	20	1812	3171	4878	30.7
ST-06u d	279	10 d _b	40	—	—	1742	43.9
				—	—	1394	35.1
ST-07u d	279	20 d _b	40	—	2125	2578	32.5
				—	2230	3310	41.7
ST-08u d	279	30 d _b	40	1777	3519	4077	34.2
				2230	2230	4669	39.2
ST-09u d	279	40 d _b	40	2230	2822	4704	29.6
				1951	2230	6063	38.2
ST-10	499	20 d _b	20	1080	2822	4530	57.0
ST-11	499	30 d _b	20	1115	2265	6934	58.2
ST-12	499	40 d _b	20	1394	2822	9059	57.0
ST-13	688	20 d _b	20	1812	2230	5052	63.6
ST-14	688	30 d _b	20	1394	2822	7038	59.1
ST-15	688	40 d _b	20	1394	3519	9338	58.8
ST-16	497	20 d _b	20	1777	2787	4460	56.1
ST-17	497	30 d _b	20	1742	3484	6690	56.1
ST-18	497	40 d _b	20	1777	2822	8502	53.5
ST-19	835	20 d _b	20	2230	2230	5052	63.6
ST-20	835	30 d _b	20	1777	2822	7840	65.8
ST-21	835	40 d _b	20	1429	2265	9443	—
ST-22	631	20 d _b	20	1777	2787	5017	63.2
ST-23	631	30 d _b	20	1429	2822	7143	59.9
ST-24	631	40 d _b	20	1080	2195	9408	59.2
ST-25	579	5 d _b	20	—	—	976	49.1
ST-26	579	10 d _b	20	—	—	2021	50.9
ST-27	579	15 d _b	20	—	2787	3136	52.6
ST-28	579	20 d _b	20	2125	2822	3868	48.7
ST-29	579	30 d _b	20	1777	2265	5052	42.4
ST-30	579	40 d _b	20	1777	2230	6690	42.1
ST-31u d	579	10 d _b	40	—	—	2160	54.4
				—	—	2230	56.1
ST-32u d	579	20 d _b	40	2230	2787	3833	48.2
				2822	3519	4669	58.8
ST-33u d	579	30 d _b	40	2230	2822	5436	45.6
				1777	2195	6446	54.1
ST-34u d	579	40 d _b	40	2091	3519	6794	42.8
				2230	2822	8641	54.4
ST-35	663	5 d _b	20	—	—	1080	54.4
ST-36	663	10 d _b	20	2230	2230	2439	61.4
ST-37	663	15 d _b	20	1777	2230	3554	59.6
ST-38	663	20 d _b	20	1812	2265	3693	46.5
ST-39	663	30 d _b	20	2230	2230	5923	49.7
ST-40	663	40 d _b	20	1429	3519	9268	58.3
ST-41u d	663	20 d _b	40	2230	1777	4111	51.8
				1777	2265	5052	63.6
ST-42u d	663	30 d _b	40	2265	2265	5819	48.8
				1777	2822	7317	61.4

*1) u: 上端筋, d: 下端筋

*2) D: はりせい

3. 実験結果

3. 1 曲げ実験 (PBシリーズ)

表-1に曲げ実験の諸結果一覧を示す。図-4に荷重-変形関係の1例としてPB-02試験体の荷重-たわみ量曲線を、図-5にひびわれ発生状況の1例を示す。破壊

図-4 荷重-たわみ量関係 (PB-02)

図-5 曲げ実験ひびわれ性状

図-6 鉄筋引張力-検長間伸び量関係 (HT-06)

図-7 両引実験 I ひびわれ性状 (HT-06)

経過はいずれの試験体も主筋に直交する曲げひびわれが発生した後、主筋に沿う付着ひびわれが継手端部より発生し、徐々に継手中央部へと進展し、コンクリートの圧壊で破壊した6体 (PB-03, 07, 08, 26, 30, 32)を除いて、継手部のかぶりコンクリートが主筋に沿って割裂し急激に耐力が低下する付着割裂により破壊した。これらの中で7体は鉄筋降伏後変形が増大した後の付着割裂破壊であった。降伏前に割裂破壊した試験体については付着割裂強度として表中に継手全体の平均付着応力度を示しているが、降伏後付着割裂破壊を生じた試験体については最大たわみ量を降伏時のたわみ量で除した塑性率を示している。付着割裂破壊の形式は、隅角部のかぶりコンクリートが割裂するcorner split型破壊であった。

3. 2 両引実験 1 (HTシリーズ)

表-2に両引実験1の諸結果一覧を示す。図-6に荷重-変形関係の1例としてHT-06試験体の鉄筋引張力-検長間伸び量曲線を、図-7にひびわれ発生状況の1例を示す。破壊経過は曲げ試験体の場合と同様で、2体が鉄筋降伏後の付着割裂破壊となった以外は、すべて鉄筋降伏前の付着割裂破壊であった。いずれの試験体も破壊形式は、表面のかぶりコンクリートが割裂するv notch split型の破壊であった。

3. 3 両引実験 2 (STシリーズ)

表-3に両引実験2の諸結果一覧を示す。図-8に荷重-変形関係の1例としてST-24試験体の鉄筋引張力-検長間伸び量曲線を、図-9にひびわれ発生状況の1例を示す。破壊経過は曲げ試験体の場合と同様で、破壊せ

図-8 鉄筋引張力-検長間伸び量関係 (ST-24)

図-9 両引実験 II ひびわれ性状 (ST-24)

ずに実験を終了したST-21試験体を除いてすべて鉄筋降伏前の付着割裂破壊であった。破壊形式は、隅角部のかぶりコンクリートが割裂するcorner split型の破壊であったが、コンクリート強度が高い試験体や重ね長さの長い試験体では破壊時の荷重が大きくなり、破壊状況も激しく、かぶりコンクリートのはく落や飛散などが見られた。

4. 結果の検討

4. 1 重ね継手を有する部材の力学的性状

重ね継手部では鉄筋が2本重ね合わされており、2本の鉄筋のひずみの合計が通し筋のひずみと等しくなると考えられる。従って、重ね継手筋のひずみは三角形分布になると考えられるが、図-10に示すように荷重が小さい場合に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いる。付着応力度は鉄筋表面の単位面積当りに生じる面内応力で表されるので、ある区間の鉄筋ひずみの差、つまり、ひずみ勾配に対応することになる。従って、付着応力度分布は荷重が小さいレベルでは継手中央部がほとんど0である凹形状となる。しかしながら、荷重の増加に伴い中央部のひず

図-10 継手筋のひずみと付着応力度分布

図-11 最大荷重時の付着応力度分布比較

みが増加し、破壊直前には継手部全体ではほぼ一定のひずみ勾配となる。主筋が降伏する試験体でも継手中央部のひずみは増加しており、この結果、鉄筋降伏後においても付着割裂破壊が起こりうるということがわかる。付着応力度分布は破壊直前には継手部全体ではほぼ一定の分布になっており、継手全体である限界の付着応力度に達した時、付着割裂破壊が引き起こされものと考えられる。

図-11には曲げ実験と両引実験シリーズの重ね長さの異なる試験体について、破壊直前の付着応力度分布を比較して示している。加力方法の違いにかかわらず、ほぼ同様な分布を示しており、破壊直前に一定の付着応力度分布になるものの、詳細に見ると、いずれの重ね長さでも荷重端部の付着応力度が逆に小さくなっており、自由端部の付着応力度が大きくなっている。これは、継手端部のコンクリートが局部的に破壊し、付着性能が低下していることをあらわしていると考えられる。

図-12にコンクリート強度の異なる重ね長さ30d.の試験体について付着応力度比分布を示す。付着応力度比とは継手部各測定区間の付着応力度を継手全体の平均付着応力度で除した値である。コンクリート強度が高いと付着応力度比は継手端部で大きく中央部では小さくなっており、荷重レベルが小さい場合その傾向が大きい。つまり、コンクリート強度が高い場合には継手端部での付着力の負担が大きく、その結果付着性能が向上するも

図-12 コンクリート強度による付着応力度比の比較

図-13 最大ひびわれ幅の比較

のと考えられる。

図-13には曲げスパン内に生じた曲げひびわれについて、鉄筋応力 f_t 1400, 2800, 4200kgf/cm²での最大ひびわれ幅を比較して示している。重ね継手が無い部材では曲げひびわれが分散するのに対し、重ね継手が有ると継手端にひびわれが集中し、その幅が大きくなると言われている。実験では鉄筋の降伏後継手端のひびわれが大きく開くという性状が見られたが、弾性範囲内では継手有無によるひびわれ幅の差異はほとんど見られなかった。継手を有する試験体について最大ひびわれ幅を平均すると、普通強度の場合、鉄筋応力度1400kgf/cm²で0.07mm、2800kgf/cm²で0.20mm、4200kgf/cm²で0.35mm、高強度コンクリートの場合ではそれぞれ0.03mm、0.18mm、0.29mmとなっている。これより、コンクリート強度が高いとひびわれ幅が小さくなる傾向があると言える。ただし、試験体によりひびわれ幅のばらつきは大きい。

4.2 付着割裂強度への各種要因の影響

鉄筋降伏後付着割裂破壊した試験体は、鉄筋強度に影響され、最大耐力がほとんど増加しなく、強度評価が困難である。従って、重ね継手の付着割裂強度の検討においては鉄筋降伏前に付着割裂破壊した試験体の最大荷重時の平均付着応力度を用いる。

a. 重ね長さ

図-14には付着割裂強度と重ね長さの関係を示している。図中、白黒半分記号がHTシリーズの結果を、白抜き記号がPBシリーズの結果を、黒塗りの記号がSTシリーズの結果を示している。HTとPBシリーズの結果については記号が見えにくくなるので、重ね長さ(x軸)を左右にずらせて示している。各実験シリーズの結果とも付着割裂強度は、コンクリート強度の違いにかかわらず重ね長さが短いと大きく、ある程度重ね長さが長いと一定になる傾向が見られる。ただし、重ね長さ5d_bの場合の付着割裂強度はいずれのコンクリート強度でも逆に小さくなっている。極端に重ね長さが短い試験体では、破壊性状は付着割裂破壊というよりもむしろ引き抜き破壊

図-14 付着割裂強度-重ね長さ関係

のような割裂性状を示しており、付着割裂強度が小さくなった原因はこの破壊性状の違いにあると思われる。データ数の多いSTシリーズの結果について、重ね長さが短い5d_bの試験体と、他の試験体に比べ極端に大きな付着割裂強度値となったST-40試験体の結果を除いて近似式を求めると、

$$\sigma_B = 279 \text{ の時 } \tau_u = 59.06 (\ell_s / d_b)^{-0.177} \dots (1)$$

$$\sigma_B = 579 \text{ の時 } \tau_u = 79.15 (\ell_s / d_b)^{-0.168} \dots (2)$$

$$\sigma_B = 663 \text{ の時 } \tau_u = 101.6 (\ell_s / d_b)^{-0.221} \dots (3)$$

となり、それぞれの相関係数は0.8062、0.9340、0.8449となる。コンクリート強度にかかわらず重ね長さに対する付着割裂強度の減少率は同じと考え、実験データの近似式はそれぞれ下式のように表せる。

$$\sigma_B = 279 \text{ の時 } \tau_u = 61.5 (\ell_s / d_b)^{-0.19} \dots (4)$$

$$\sigma_B = 579 \text{ の時 } \tau_u = 84.6 (\ell_s / d_b)^{-0.19} \dots (5)$$

$$\sigma_B = 663 \text{ の時 } \tau_u = 92.7 (\ell_s / d_b)^{-0.19} \dots (6)$$

図中にこれらの近似式を実線で示す。また、付着割裂強度式として提案されているOrangun式(τ_u)⁶⁾と森田・藤井式($m\tau_u$)⁷⁾を用いて算定した値をそれぞれ破線と一点鎖線で示す。なお、実験結果は後でのべるように上端筋の結果に近いので、上端筋として算定した。森田・藤井式では各コンクリート強度について次の算定値が得られる。式中では割裂パターンの判定尺度 b_s として、 b_{v1} 、 b_{c1} 、 b_{s1} の最小値を与えるとしているが本試験体の場合はcorner split型となる b_{c1} が最小値となり、実際の破壊性状とも一致している。

$$m\tau_u(279) = 42.0$$

$$m\tau_u(579) = 60.5$$

$$m\tau_u(663) = 64.7$$

また、Orangun式では次式が得られる。

$$\tau_u(279) = 72.25 (\ell_s / d_b)^{-0.25}$$

$$\tau_u(579) = 103.49 (\ell_s / d_b)^{-0.25}$$

$$\tau_u(663) = 110.77 (\ell_s / d_b)^{-0.25}$$

図より、重ね長さを考慮したOrangun式は実験結果と良く一致しており、これより重ね継手の付着割裂強度の評価には重ね長さの考慮が必要であると言える。

b. コンクリート強度

図-15には横補強筋の無い試験体(HTシリーズ)について、図-16には横補強筋を有する試験体(PB、STシリーズ)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-16の中で白抜き記号がPBシリーズの結果を、黒塗りの記号がSTシリーズの結果を示している。各図中には重ね長さ30d_bの試験体について実験値(HT、STシリーズ)を近似した結果を実線で、Orangun式による計算結果を破線で、森田・藤井式による計算結果を一点鎖線で示している。それぞれについて実験データの近似をすると補強筋の無い場合、

$$\ell_s = 25d_b \text{ で } \tau_u = 5.646 \sigma_B^{0.3059} \dots (7)$$

$$l_s = 30 d_b \text{ で } \tau_u = 6.536 \sigma_B^{0.2686} \dots (8)$$

$$l_s = 40 d_b \text{ で } \tau_u = 8.864 \sigma_B^{0.2149} \dots (9)$$

となり、相関係数は0.8799、0.8810、0.9686となる。

補強筋が有る場合は、

$$l_s = 30 d_b \text{ で } \tau_u = 2.4697 \sigma_B^{0.5259} \text{ (PB)} \dots (10)$$

$$l_s = 20 d_b \text{ で } \tau_u = 1.6357 \sigma_B^{0.5456} \text{ (ST)} \dots (11)$$

$$l_s = 30 d_b \text{ で } \tau_u = 1.7331 \sigma_B^{0.5324} \text{ (ST)} \dots (12)$$

$$l_s = 40 d_b \text{ で } \tau_u = 0.5974 \sigma_B^{0.7013} \text{ (ST)} \dots (13)$$

相関係数は0.9556、0.7345、0.7880、0.8352となる。いずれの場合も付着割裂強度はコンクリート強度が高いほど大きくなるが、コンクリート強度に対する増加率は補強筋のある場合の方が大きくなっている。図-15中には材料試験で得られたコンクリートの圧縮強度 σ_B と引張強度 σ_t との関係を示しているが、その関係を近似すると、引張強度は $\sigma_t = 7.126 \sigma_B^{0.63}$ と表され、横補強筋が無い場合の付着割裂強度のコンクリートの圧縮強度に対する増加率は引張強度の場合の増加率と比べて小さくなっている。また同じ補強筋量の場合、PBとSTシリーズで増加率はほぼ等しいが、付着割裂強度自体は全体的にPBシリーズの方が大きくなっている。

既往の付着割裂強度式では補強筋量にかかわらず付着割裂強度はコンクリート強度の平方根に比例して増加す

図-15 付着割裂強度-コンクリート強度 (pw=0%)

図-16 付着割裂強度-コンクリート強度 (pw=0.2%)

る形としているが、補強筋が無い場合にはより小さな増加率(σ_B の約0.3乗)であり、完全補強(鋼管補強など)の場合には付着割裂破壊が生じないと仮定すると鉄筋表面の節とコンクリートとの支圧作用が支配的となり付着割裂強度は σ_B の1.0乗に比例すると考えられる。従って、高強度コンクリート中の重ね継手の付着割裂強度を評価する場合には、コンクリート強度の平方根に比例するという考え方よりむしろ、コンクリート強度に対する増加率自体に横補強筋量を考慮する考え方が必要と言える。しかしながら、本実験では補強筋の有無による影響を検討しただけで、補強筋量の定量的影響については今後の課題であると言える。

c. 上端筋と下端筋

図-17には重ね長さとコンクリート強度の異なる試験体について、上端筋と下端筋の付着割裂強度を比較して示している。図中、黒塗りの記号が下端筋、白抜きの記号が上端筋の結果を、また、白黒半分の記号がはりせい20cmの試験体の結果を示している。破壊が引き抜き破壊であった重ね長さ10d_bの試験体では上端筋と下端筋の付着応力度に差異はほとんど見られないが、重ね長さ20d_b以上の試験体では、重ね長さやコンクリート強度の違いにかかわらず下端筋の方が大きな付着割裂強度を示している。下端筋と上端筋の付着割裂強度の比は、 $\sigma_B = 279 \text{ kgf/cm}^2$ の場合1.24、 $\sigma_B = 579 \text{ kgf/cm}^2$ の場合1.23、 $\sigma_B = 663 \text{ kgf/cm}^2$ の場合1.25、また、重ね長さ $l_s = 20 d_b$ の場合1.24、 $l_s = 30 d_b$ の場合1.20、 $l_s = 40 d_b$ の場合1.28となっており、付着割裂強度の比にコンクリート強度や重ね長さによる差異はほとんど見られない。また、はりせい20cmの試験体の付着割裂強度は上端筋のデータに近い結果となった。全試験体の付着割裂強度の比を平均すると1.24となる。既往の研究では上端筋と下端筋の比を1.22としている⁸⁾が、本実験結果はこれより若干大きくなっているものの大差はないと言える。

以上より、高強度鉄筋コンクリート部材においても上

図-17 鉄筋位置の違いによる付着割裂強度の比較

端筋に重ね継手を設けると下端筋の場合に比べ付着割裂強度は小さくなり、その比は普通強度の場合と同等であると言える。

4. 3 変形性能への各種要因の影響

鉄筋の降伏強度を上回る継手耐力を確保した場合でも重ね継手を有する試験体は鉄筋降伏後付着割裂破壊を生じる場合がある。このような鉄筋降伏後付着割裂破壊する試験体では、強度評価は困難であるが、変形性能の評価は可能である。図-18に破壊時のたわみ量を鉄筋降伏時のたわみ量で除した塑性率とコンクリート強度、鉄筋強度（降伏点）、重ね長さとの関係を示すが、図より同じ重ね長さで鉄筋強度が等しい場合にはコンクリート強度が高いほど、また、コンクリート強度が等しい場合には鉄筋強度が小さいほど、材料強度が等しい場合には重ね長さが長いほど塑性率が大きくなることわかる。

図-18 変形性能の比較

5. まとめ

重ね継手を有する高強度鉄筋コンクリート部材を対象に実験を行った結果、次の結論が得られた。

(1) 鉄筋応力が小さいレベルでは継手端で付着力の負担が主に行われ、継手部の付着応力度分布は凹型形状となるが、破壊直前には継手部全体でほぼ一様な分布となる。つまり、継手全体である限界の付着応力度に達した時付着割裂破壊となると考えられる。ただし、破壊直前の付着応力度分布を詳細に見ると荷重端の付着応力度が逆に小さくなっており、付着性能が低下していることがわかる。また、コンクリート強度が高いほど継手端での付着力の負担が大きくなる。

(2) 継手端に曲げひびわれが集中し、その幅が大きくなると言われるが、鉄筋降伏前では継手の有無によるひびわれ幅の差異はほとんど見られなかった。また、最大ひびわれ幅はコンクリート強度が高いほど小さくなる傾向が見られた。

(3) 付着割裂強度はコンクリート強度の違いにかかわらず重ね長さが短いと大きくなり、付着割裂強度式では重ね長さを考慮する必要がある。corner split型破壊の場合、付着割裂強度と重ね長さの関係として、(4) から(6) 式で示す近似式が得られる。

(4) 付着割裂強度はコンクリート強度が高いほど大きい、コンクリート強度に対する増加率は補強筋の有無で異なる。付着割裂強度とコンクリート強度の関係として、補強筋の無い場合(7) から(9)、補強筋の有る場合(10)から(13)式で示す近似式が得られる。

(5) 重ね長さやコンクリート強度の違い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。

(6) 鉄筋降伏後付着割裂破壊する場合には、その変形性能はコンクリート強度が高いほど、鉄筋強度が小さいほど、重ね長さが長いほど大きくなる。

謝辞

本研究の実験を行うにあたり、串木克巳氏（株式会社テクネット）、小林俊夫氏（清水建設技術研究所）の両氏に多大なる御協力をいただきました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Tepfers, R.: A Theory of Bond Applied to Overlapped Tensile Reinforcement Splices for Deformed Bars, Publication 73:2, Division of Concrete Structures 1973, Chalmers University of Technology, Gutenberg, Sweden
- 2) 田中礼治, 但木幸男, 大芳賀義喜: 高強度鉄筋SD50の重ね継手に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文報告集, 第405号, p. 19, 1989年11月
- 3) 角陸純一, 猿田正明: 高強度鉄筋コンクリート部材の重ね継手に関する実験研究(その1 鉄筋両引実験), 日本建築学会関東支部研究報告集, p. 69, 昭和62年.
- 4) 角陸純一, 猿田正明: 高強度鉄筋コンクリート部材の重ね継手に関する実験研究(その2 はりの純曲げ実験), 日本建築学会大会学術講演梗概集, p. 143, 昭和62年10月.
- 5) 小林他: 在来鉄筋継手を全数継手で用いる場合の継手性能評価に関する研究(その5・重ね継手実験方法の違いによる結果の比較), 日本建築学会大会学術講演梗概集, p. 45, 1993年
- 6) 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, p. 114, Mar. 1977
- 7) 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, p. 45, 昭和58年2月
- 8) 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1報 付着割裂破壊を支配する要因についての実験結果, 日本建築学会構造系論文報告集, 第324号, p. 45, 昭和58年2月

(1992年12月25日原稿受理, 1993年8月25日採用決定)