

論文 高強度鉄筋コンクリート部材中の重ね継手位置の影響に関する研究

角陸純一*1

要旨：コンクリート強度約 30MPa から 60MPa 程度までの重ね継手を有する高強度鉄筋コンクリート梁部材を対象に、断面中の継手筋位置（かぶり厚さ、鉄筋間隔、継手筋のあき間隔）と実験方法（曲げ実験と両引実験、一方向繰り返しと交番繰り返し）をパラメータとした実験を行い、ひび割れ性状等について検討するとともに、各要因について付着割裂強度との関係を検討した。

キーワード：高強度コンクリート、鉄筋継手、重ね継手、付着、実験

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物において鉄筋の継手は必要不可欠なものであり、種々の継手工法が使用されている。これらの継手工法の中で重ね継手は最も古くから使用され、施工が簡便で経済的な継手工法であるが、鉄筋に大きな力が生じるとかぶりコンクリートが鉄筋に沿って付着割裂破壊する恐れがあり、また実験データが充分でないということから、「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（以下、RC規準と称する）」¹⁾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。一方、高層建物や大型構造物の建設に伴い、高強度のコンクリートや鉄筋が使用される傾向にあり、このような高強度鉄筋コンクリート構造物では、プレキャスト工法や鉄筋先組工法等が行われることが多く、鉄筋継手として重ね継手の要望が高い。

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、普通強度の鉄筋コンクリート部材を対象にした実験が主である²⁾。これらの理由から、著者は高強度鉄筋コンクリート部材を対象に、重ね継手の付着性能への各種の要因の影響を定量的に検討してきた^{3)~6)}。

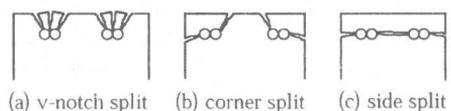
本研究では、高強度鉄筋コンクリート部材を対象とし、重ね継手性能へのかぶり厚さ、鉄筋間隔、継手筋のあき間隔、加力方法（曲げ実験、

両引実験）、加力履歴（一方向繰返し、交番繰返し）の影響を検討した。

2. 実験概要

表—1 に試験体の一覧を示す。試験体記号の左側がシリーズ記号を表し、右側が番号を表している。実験で検討した要因は、S1 シリーズで鉄筋間隔（鉄筋表面間距離： $2.0d_b \sim 13.8d_b$ 、 d_b : 鉄筋径）、S2 シリーズで継手筋のあき間隔（ $0 \sim 4.0d_b$ ）、S3 シリーズでかぶり厚（ $0.5d_b \sim 3.5d_b$ ）で、他に継手無しの試験体も比較のために実験した。また、加力方法を検討する両引試験体は、曲げ試験体と同一断面形状で、継手部のみを取り出した形状とした。

図—2 に曲げ及び両引実験の代表的な試験体として、S1-01 試験体と S1-06 試験体の配筋図を示す。重ね継手の付着割裂破壊モードは、かぶり厚さと鉄筋間隔の関係から図—1 に示すような v notch split 型、corner split 型、side split 型の 3 タイプの破壊となることが多い⁷⁾が、本研究では試験体はかぶり厚さと鉄筋間隔の影響を検討するため、corner split 型の破壊とならない



図—1 付着割裂破壊モード

*1 清水建設（株）東京支店建築技術部横浜G主査 工博（正会員）

ように側面のかぶり厚さを大きくし (4.2d_b) 試験体幅を 50 cm とした。試験体のせいは、かぶり厚さの違いにより 28 cm から 34 cm とした。付着割裂強度を検討するため、試験体が付着割裂破壊する前に鉄筋が降伏しないように、主筋には熱処理により強度を高めた D19 鉄筋 (SD345→f_y=843MPa) を使用した。S1 シリーズでは、鉄筋間隔に応じて主筋本数を変化させ、圧縮側主筋と引張側主筋の本数は同じにした。S2 シリーズと S3 シリーズでは、圧縮側と引張側に各 2 本の主筋を配筋した。横補強筋には 6.4 mm 径の高強度鉄筋 (f_y=1372MPa) を使用した。重ね長

さは、RC 規準で SD345 鉄筋の最小重ね長として規定されている 30d_b とした。横補強筋間隔は、一般的部材に換算した場合、RC 規準に規定されたあばら筋の限界値である p_w=0.2% に相当する 90 mm とした。コンクリートは、継手筋が下端筋となるように平打ちで打設した。

加力は、一方向繰返し曲げ実験の場合、継手が一定曲げモーメント部にあり、継手筋に引張り応力が生じるように、図-2 に黒塗りの矢印で示す位置で集中載荷で荷重制御により繰返し載荷を行った。正負交番繰返し曲げ実験の場合は同一位置で方向を変えて載荷を行った。両引

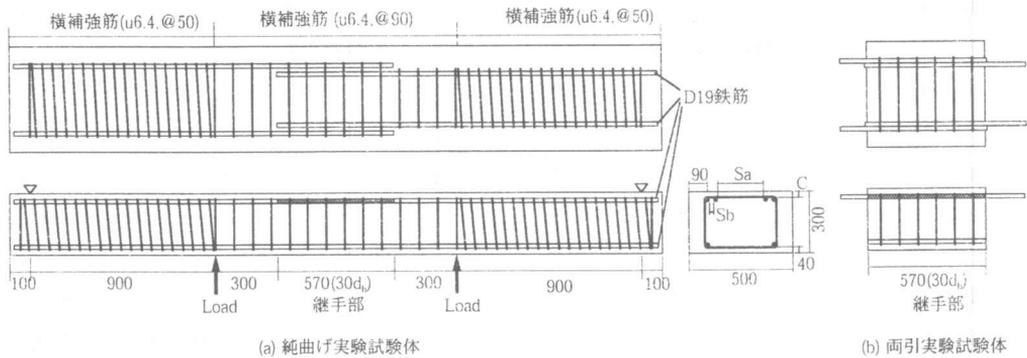


図-2 代表的な試験体の配筋図

表-1 試験体パラメータと主な実験結果一覧

試験体 記号	実験方法		実験パラメータ (d _b :鉄筋径)					実験結果				
			σ _B (MPa)	L _s (×d _b)	C (×d _b)	S _a (×d _b)	S _b (×d _b)	P _b (kN)	P _s (kN)	P _u (kN)	f _u (MPa)	τ _u (MPa)
S1-01	純曲げ	一方向繰返し	63.5	30	1.5	13.8	0	72.6	88.3	244.2	842	7.07
S1-02	純曲げ	一方向繰返し	63.5	30	1.5	5.9	0	70.6	122.6	368.7	845.7	7.1
S1-03	純曲げ	一方向繰返し	63.5	30	1.5	3.6	0	68.6	176.5	439.4	755.9	6.34
S1-04	純曲げ	一方向繰返し	63.5	30	1.5	2.5	0	69.6	157.9	457	629.1	5.28
S1-05	純曲げ	一方向繰返し	63.5	-	1.5	13.8	0	57.9	77.5	253	872.4	-
S1-06	両引	一方向繰返し	63.5	30	1.5	13.8	0	78.5	78.5	229.5	797.3	6.69
S2-01	純曲げ	一方向繰返し	44.8	30	1.5	13.8	0	51	71.6	219.7	756.5	6.35
S2-02	純曲げ	一方向繰返し	44.8	30	1.5	11.8	1	49	73.6	220.7	759.9	6.38
S2-03	純曲げ	一方向繰返し	44.8	30	1.5	9.8	2	51	68.6	218.7	753.1	6.32
S2-04	純曲げ	一方向繰返し	44.8	30	1.5	7.8	3	50	71.6	215.8	742.9	6.23
S2-05	純曲げ	一方向繰返し	44.8	30	1.5	5.8	4	51	83.4	213.8	737.4	6.18
S2-06	両引	一方向繰返し	44.8	30	1.5	13.8	0	79.4	56.9	188.3	654.9	5.5
S3-01	純曲げ	一方向繰返し	33.8	30	1.5	13.8	0	52	72.6	194.2	668.7	5.62
S3-02	純曲げ	一方向繰返し	33.8	30	0.5	13.8	0	34.3	82.4	186.3	640.5	5.38
S3-03	純曲げ	一方向繰返し	33.8	30	2.5	13.8	0	59.8	99.1	229.5	791.4	6.64
S3-04	純曲げ	一方向繰返し	33.8	30	3.5	13.8	0	50	83.4	248.1	853.3	7.16
S3-05	純曲げ	正負交番繰返し	33.8	30	1.5	13.8	0	57.9	76.5	183.4	630.4	5.29
S3-06	両引	一方向繰返し	33.8	30	1.5	13.8	0	56.9	49	178.5	622.1	5.22

*注1 σ_B:コンクリート強度, L_s:重ね長さ, C:かぶり厚さ, S_a:鉄筋表面間距離, S_b:継手筋間のあき間隔

*注2 P_b:曲げひび割れ荷重, P_s:付着ひび割れ荷重, P_u:最大荷重, P:純曲げの場合2点載荷の合計荷重, 両引の場合鉄筋1本当りの引張荷重

u:付着割裂強度 u=fu×a'(Φ×Ls) a:鉄筋断面積(cm²), Φ:鉄筋周長(cm), L_s:重ね長さ(cm)

f_u:最大鉄筋応力 純曲げの場合: f_u=Mu/(a×j) Mu:最大荷重時曲げモーメント, j:応力中心間距離 (=7d/8), d:梁の有効せい

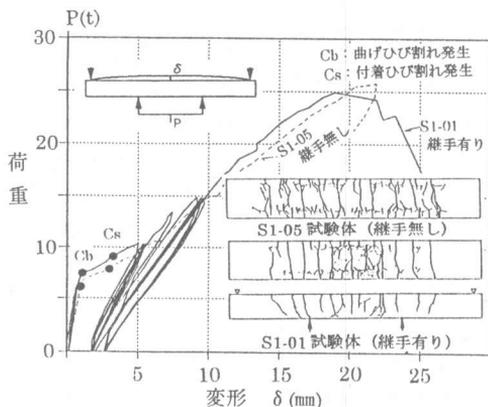
実験では、試験体から突き出た鉄筋を両側から専用の治具を用いてつかみ、荷重制御により繰返し引張り載荷した。

3. 実験結果

表一に、主な実験結果として、全試験体の曲げひび割れ荷重、付着ひび割れ荷重、最大荷重、継手部の最大鉄筋応力と付着割裂強度を示している。

破壊形式は、継手無し試験体の場合、圧縮側コンクリートが圧壊したので除荷して実験を終了したが、継手の有る試験体はすべて付着割裂破壊であり、急激に耐力が低下した。同一断面である継手有り試験体と継手無し試験体の荷重—変形関係の比較を図一三に示す。曲げひび割れ発生後、継手無し試験体の剛性が若干小さめであるが、最大荷重に達するまではほぼ同様の荷重—変形関係であると言える。

継手部鉄筋の付着応力度分布の一例として、S1-01 試験体の継手部の付着応力度を図一四に示す。各区間の付着応力度は、重ね合わせた継手筋の一方の鉄筋について図中に示す位置で測定したひずみ値を用いて算出した。鉄筋応力が小さいレベルでは継手中央部の付着応力度が小さい凹形の分布形状であるが、最大荷重近くでは継手部全体でほぼ一定の付着応力度分布となっている。ただし、荷重端側の付着応力度は最大荷重近くで低下している。

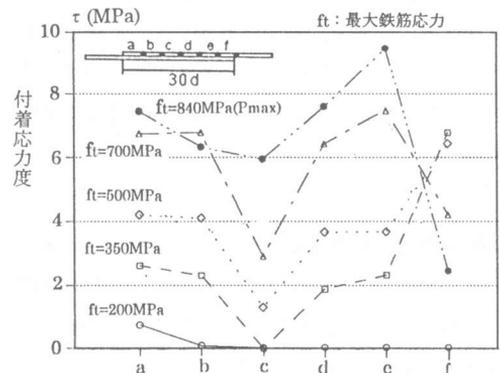


図一三 荷重—変形関係の比較 (継手有無)

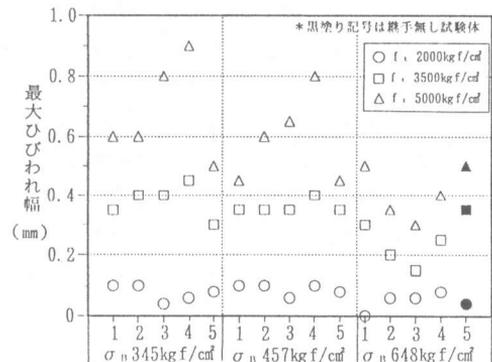
図一五には曲げ実験で得られた最大ひび割れ幅の比較を各鉄筋応力について示している。コンクリート強度が高い試験体ほどひび割れ幅が小さく、継手筋間にあきがある場合とかぶり厚さが大きい場合にはひび割れ幅が大きくなる傾向が見られた。また、継手有無による差異は各荷重レベルで見られず、鉄筋応力 $f_t=200\text{MPa}$ の長期荷重レベルではひび割れ幅はほぼ 0.1mm 以下であった。

4. 結果の検討

各検討要因について破壊時のひび割れ性状と付着割裂強度を比較して検討する。付着割裂強度を比較した図の中で図一七、九、一〇では、既往の実験³⁾で実施した両引実験データを合わせて図中に示している。図中に黒塗りで示す記号が本実験データであり、白抜きの記号が既往実験データである。また、図中に既往の付着割



図一四 継手部の付着応力度分布の一例



図一五 最大ひび割れ幅の比較

裂強度算定式として森田・藤井式⁴⁾で算定した結果も示している。森田・藤井式は重ね継手に適用できるように割裂パターンを判定する尺度 b_{si} を修正した。割裂パターンは図-1に示す破壊モードのうち b_{vi} は v notch split 型、 b_{ci} は corner split 型、 b_{si} は side split 型に対応している。

藤井・森田改良式

$$\tau_u = \tau_{co} + \tau_{st} \quad (1)$$

$$\tau_{co} = (0.307 \cdot b_i + 0.427) \cdot \sqrt{\sigma_B} \quad (2)$$

$$\tau_{st} = 24.9 \cdot k \cdot A_{st} / s N d_b \cdot \sqrt{\sigma_B} \quad (3)$$

b_i は b_{vi}, b_{ci}, b_{si} の最小値で与える

$$b_{vi} = \sqrt{3(2c_{min}/d_b + 1)} \quad (4)$$

$$b_{ci} = \sqrt{2((c_s + c_b)/d_b + 1) - 1} \quad (5)$$

$$b_{si} = b / (N d_b) - 2 \quad (6)$$

$$\left. \begin{aligned} b_i = b_{vi} \text{ の時} & \quad k = 0 \\ b_i = b_{ci} \text{ の時} & \quad k = \sqrt{2} \\ b_i = b_{si} \text{ の時} & \quad k = 1 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

ここで、 c_s ；側面かぶり厚さ、 c_b ；底面かぶり厚さ、 d_b ；主筋径、 b ；はり幅、 s ；横補強筋間隔、 c_{min} ；最小かぶり厚さ、 σ_B ；コンクリート強度、 N ；主筋本数、 A_{st} ；一組の横補強筋全断面面積

4.1 かぶり厚さの影響

図-6に最終破壊状況を、図-7にかぶり厚さと付着割裂強度の関係を示す。かぶり厚さが小さい場合継手部に細かな斜めひび割れが多数

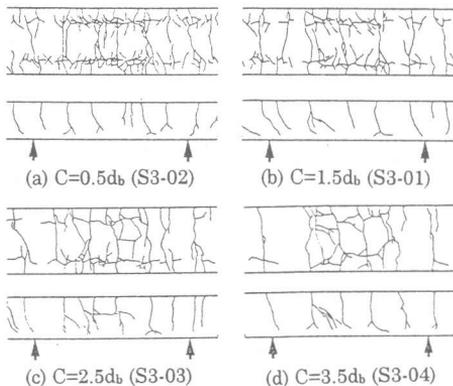


図-6 最終ひび割れ性状の比較

見られるが、かぶり厚さが大きい試験体では鉄筋に沿った大きな割裂ひび割れが見られた。付着割裂強度はコンクリート強度の違いに関わらず、かぶり厚さが大きいほど大きくなっており、既往式の算定値に比べ実験値の増加率は若干小さいが、かぶり厚さに比例して付着割裂強度が増加していると言える。

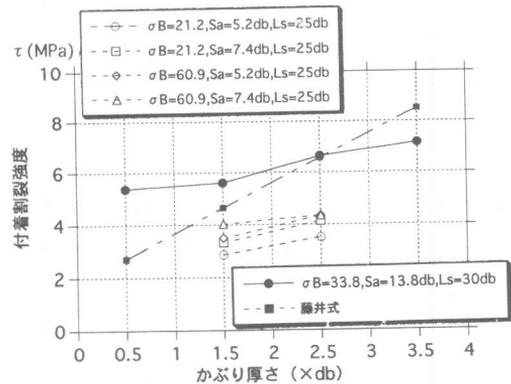


図-7 かぶり厚さ-付着割裂強度関係

4.2 鉄筋間隔の影響

図-8に最終破壊状況、図-9に鉄筋間隔と付着割裂強度の関係を示す。鉄筋間隔は同じ梁幅で鉄筋本数を変えて変化させており、付着割裂ひび割れの違いは継手筋本数の違いと見られる。付着割裂強度は鉄筋間隔が大きいほど大きくなるが、鉄筋間隔が大きい場合には v notch split 型の割裂となるため、鉄筋間隔が大きくなってても付着割裂強度に差はなくなっており、既

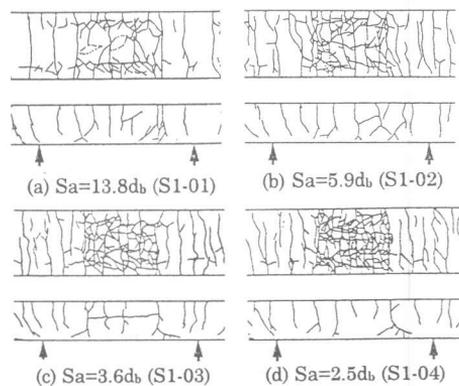


図-8 最終ひび割れ性状の比較 (鉄筋間隔)

往式による算定値も同様の結果となっている。

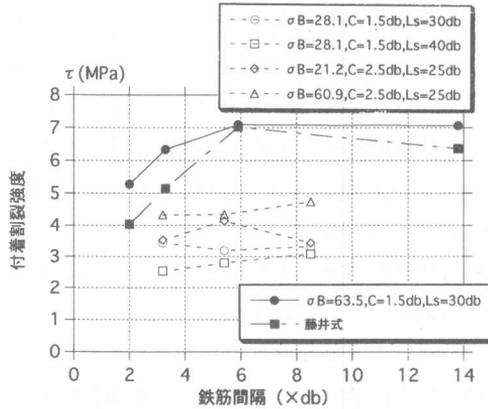


図-9 鉄筋間隔-付着割裂強度関係

4.3 継手筋のあき

図-10 に最終破壊状況を、図-11 に継手筋のあき間隔と付着割裂強度の関係を示す。あきが無い場合、付着割裂ひび割れは継手筋1組に沿ってほぼ1本生じているが、あきがあるとそれぞれの継手筋上に付着割裂ひび割れが生じている。付着割裂強度は継手部のあき間隔が大きくなると小さくなるのではないかとこの怖れがあり、両引実験ではあき間隔が鉄筋径の2倍以上になると強度が低下した。しかしながら、曲げ実験ではあき間隔が鉄筋径の4倍でも付着割裂強度の低下はごくわずかであった。両引実験では加力方法の問題もあると考えられる。従って、梁試験体を使用した曲げ実験の結果からあき間隔の付着割裂強度への影響は小さいと言え

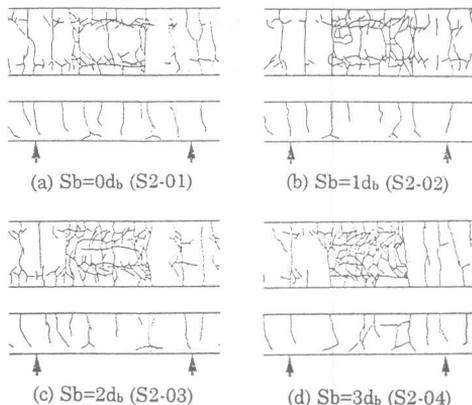


図-10 最終ひび割れ性状の比較(あき間隔)

る。また、あき間隔が鉄筋径の1倍ではあきが無い場合に比べ付着割裂強度が増加した。これは継手筋周囲のコンクリートの充填性が良くなったためではないかと考えられる。

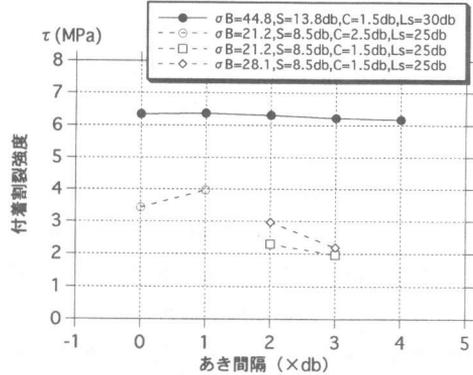


図-11 あき間隔-付着割裂強度関係

4.4 加力方法の影響

重ね継手性能を検討する場合、一般的には曲げ実験と両引実験で行われている。筆者らは既往実験データについて検討した結果、曲げ実験に比べ両引実験で得られた付着割裂強度が若干小さくなる傾向があることを報告した⁹⁾。本研究では同じ断面形状で同じコンクリート強度の試験体を用いて加力方法の違いによる影響を検討した。また、加力履歴の違いとして、一方向の繰り返し曲げ実験と正負交番繰り返し曲げ実験の差異についても検討した。図-12 にコンクリート強度と付着割裂強度の関係を示す。両引実験結果を黒丸の記号で、一方向繰り返し曲げ

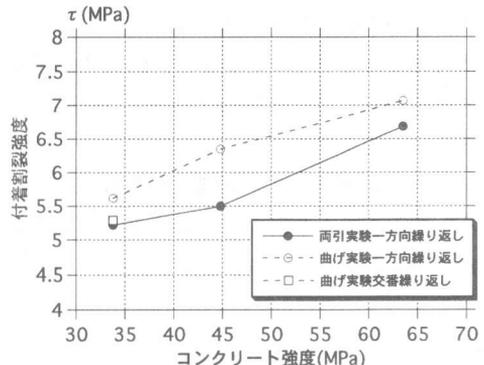


図-12 コンクリート-付着割裂強度関係

実験結果を白丸、正負交番繰り返し曲げ実験結果を白四角の記号で示している。いずれのコンクリート強度でも曲げ実験の方が付着割裂強度が大きく、両引実験結果は曲げ実験の約0.91倍という結果になった。また、正負交番繰り返し実験の結果は一方向繰り返し実験結果より小さく、付着割裂強度は0.94倍となった。

5. まとめ

コンクリート強度 60MPa 程度までの高強度鉄筋コンクリート部材を対象に、重ね継手性能への断面中の継手位置の影響と加力方法の影響を検討した結果、次の結論が得られた。

- ・普通強度の場合と同じく高強度コンクリートの場合もかぶり厚さと鉄筋間隔に比例して付着割裂破壊強度が増加するが、かぶり厚さと鉄筋間隔の関係で付着割裂破壊モードが異なるため、付着割裂強度は両者の関係を考慮する必要がある。
- ・継手筋のあき間隔に対する付着割裂強度の低下は、あき間隔が鉄筋径の4倍程度までは小さいと言える。また、あき間隔が鉄筋径の1倍程度では逆に付着割裂強度が大きくなることがある。
- ・曲げ実験に比べ両引実験では付着割裂強度が0.91倍程度と小さくなる。また、一方向繰り返し載荷に比べ正負交番繰り返し載荷では付着割裂強度が若干小さくなる。

高強度鉄筋コンクリート部材の重ね継手性能を検討したこれまでの研究の結果、かぶり厚さや鉄筋間隔等の影響は普通強度の場合と同じように考えられるが、コンクリート強度や横補強筋の影響に関しては普通強度の場合で提案された既往式が適用できないことがわかった。今後は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をより適切に評価できる算定式を検討する必要があるものと言える。

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 1991,1991.4
- 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,pp131~pp139,1992.5
- 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,日本建築学
会関東支部研究報告集,pp69~pp72,1987
- 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,pp123~
pp130,1993.11
- 5)角陸純一：高強度コンクリートを用いた重ね
継手の付着割裂破壊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,pp167~pp174,1994.1
- 6)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,pp51~pp58,1994.2
- 7)David M.F.Orr:Lap Splicing of Deformed
ReinforcingsBars,ACIJournal,Nov.1976,
pp622~pp627
- 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,pp45~pp53,1983.2
- 9)小林俊夫,角陸純一,市之瀬敏勝,田中礼治：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,pp45~pp46,1993.9