

連続スラブ中間支持点に設けた鉄筋重ね継手に関する研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2012-05-24 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 越前谷, 智 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10291/12899

①

連続スラブ中間支持点に設けた鉄筋重ね継手に関する研究

越前谷 智

EXPERIMENTAL STUDY ON THE PERFORMANCE OF LAPPED
SPLICE OF BARS PLACED AT THE INNER SUPPORT
OF CONTINUOUS SLABS

Satoshi ECHIZENYA.

平成 8 年 5 月

目 次

第 I 章 緒 論

第 1 節 本研究の背景	1
第 2 節 本研究の意図	4
第 3 節 本研究の構成	8

第 II 章 重ね継手についての既往の研究に基づく考察

第 1 節 鉄筋重ね継手の構造特性に及ぼす諸要因	9
1.1 序	
1.2 重ね継手長さ	
1.3 かぶり厚さと鉄筋間隔	
1.4 継手の位置、集中度	
1.5 コンクリート強度および鉄筋強度	
1.6 継手補強	
1.7 継手端フック	
1.8 曲げせん断実験における鉄筋重ね継手	
1.9 太径鉄筋	
第 2 節 重ね継手に関する既往の研究	20
第 3 節 重ね継手に関する既往論文と本論文の接点	57

第 III 章 連続スラブの中間支持点（曲げモーメントピーク点）に設けた鉄筋重ね継手に関する研究

第 1 節 研究の目的と実験の進め方	60
第 2 節 曲げモーメントピーク点に設けた重ね継手の挙動	
－ 静定スラブによる研究 －	
2.1 シリーズ I：パイロットテスト	
2.1.1 試験体種別	61
2.1.2 使用材料の機械的性質	62

2.1.3	加力および測定方法	63
2.1.4	実験結果および検討	63
2.1.5	結 論	68
2.2	シリーズII	
2.2.1	試験体種別	83
2.2.2	使用材料の機械的性質	84
2.2.3	加力および測定方法	84
2.2.4	実験結果および検討	85
2.2.5	結 論	91
第3節	連続はり中間支点（曲げモーメントピーク点）に設けた重ね 継手の挙動 - 不静定2スパン連続スラブによる研究 -	
3.1	シリーズIII：パイロットテスト	
3.1.1	パイロットテスト（シリーズIII）の概要	114
3.2	シリーズIV：本試験	
3.2.1	試験体	117
3.2.2	使用材料	118
3.2.3	加力および測定方法	118
3.2.4	実験結果および考察	119
3.2.5	結 論	124
第4節	連続スラブ中間支点到に設けた重ね継手長さの提案	
4.1	連続スラブ中間支持点のモーメントピーク点に設ける重ね継手 長さの提案	139
4.2	適用範囲の検証	140
4.3	結 論	143
第IV章	結 び	146
[補足実験]		149
謝 辞		155
参考文献		156

連続スラブ中間支持点に設けた鉄筋重ね継手に関する研究

第I章 緒 論

第1節 本研究の背景

鉄筋コンクリート構造物における鉄筋には、その生産、出荷、運搬などの都合上定尺、一般に3.5～10mで0.5m毎の長さがあり、現場配筋ではこれらの鉄筋を連続鉄筋とするために継手は欠くことのできないものである。鉄筋継手工法には、重ね継手のほか、ガス圧接継手、溶接継手、機械継手がある。この中で重ね継手は最も歴史が古いが、接合しようとする鉄筋を単にコンクリート中に所要の長さだけ重ねて並べて置き、付着応力を介して、鉄筋応力を相互に伝達しようとする非常に鉄筋コンクリートのなものであり、施工性、経済性の点からも大へんすぐれた継手工法である。現在はスラブ、壁板など平板部材内での鉄筋の継手に多く使われ、比較的小径、例えばD 16以下の鉄筋の継手によく使われる。

重ね継手に限らず、一般に継手は鉄筋応力の小さいところにその位置を置くように、仕様書、法規などで指示され、やむを得ず応力の大きいところに設ける場合はそれなりの措置を講ずるように指示されるのが普通である。

継手に関する継手位置および集中度などの法的規制について触れてみると、鉄筋継手に関しては建築基準法施行令⁸²⁾における第73条に「主筋または耐力壁の鉄筋の継手は、構造部材における引張力の最も小さい部分に設け、継手の重ね長さは、主筋等の径の25倍以上としなければならない。ただし、主筋等の継手を引張力の最も小さい部分に設けることができない場合においては、その重ね長さを主筋などの径の40倍以上としなければならない」とある。その他、日本建築学会の「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」において、建築工事標準仕様書・同解説の中の「JASS5」において、鉄筋コンクリート造の「配筋指針」においてそれぞれ鉄筋継手に関する規定がある。これら各種規準による重ね継手長さに関する規定等を日本建築学会、土木学会、諸外国のACI、NZSを例に、条文、規定を表I.1.1、表I.1.2に示した。

表 1.1.1 重ね長さに関する規定

既 定	ACI	NZS	日本建築学会	土木学会
①設計および施工上の指示	設計図または仕様書に指示するが、技術者の許可により設置する	設計図または仕様書に指示するが、技術者の許可により設置する	継手の種類を設計図書に指示する（鉄筋コンクリート造配筋指針同解説）	鉄筋継手設計施工基本指針
②応力上の原則	継手はできるだけ応力の小さい個所に設ける	継手はできるだけ応力の小さい個所に設ける	継手はできるだけ応力の小さい個所に設ける	継手はできるだけ応力の大きい断面は避ける
③継手筋として使用する鉄筋	異形鉄筋であること	異形鉄筋であること	異形鉄筋及び丸鋼の使用が可能	異形鉄筋及び丸鋼の使用が可能
④継手に対する耐震設計規定	「継手と定着」の章とは別に「耐震設計のための特別規定」の章がある	「継手と定着」の章に「地震荷重に対する継手設計」の項がある	「鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針」により定着長さ（付着割裂）の検討を行う	「鉄筋継手評価指針」により高応力繰返し荷重を受ける場合の検討を行う
⑤引張継手と圧縮継手	それぞれの継手種類に対して、引張継手と圧縮継手の設計法が規定されている	それぞれの継手種類に対して、引張継手と圧縮継手の設計法が規定されている	鉄筋応力が圧縮の場合は許容付着応力度を1.5倍まで割増しできる	主に引張を受ける鉄筋の継手を対象とするが圧縮を受ける鉄筋の継手に準用する

表 1.1.2 規定定着長さ算定式

規 定	基本定着長さ	規 定	基本定着長さ
日 本 建築学会	$l_{da} = \frac{\sigma_s \cdot A}{f_{sa} \cdot \phi} \quad (\text{cm})$ $\sigma_s: \text{鉄筋の応力} (\text{Kgf/cm}^2)$ $A: \text{鉄筋断面積} (\text{cm}^2)$ $f_{sa}: \text{許容付着応力度 } 1/15 \cdot F_c$ $\phi: \text{鉄筋周長} (\text{cm}) \leq D29$	ACI 318	$l_{da} = \frac{0.06 \cdot A_s \cdot f_y}{\sqrt{f_c}} \quad (\text{cm})$ $A_s: \text{鉄筋断面積} (\text{cm}^2)$ $f_y: \text{鉄筋規格降伏強度} (\text{kgf/cm}^2)$ $f_c: \text{コンクリート設計規準強度} (\text{kgf/cm}^2)$ $\text{但し } 0.006d_b \cdot f_y (\text{cm}) \text{ 以上}$ $d_b: \text{主筋直径 } \leq D35$ $(f_y \leq 4200 \text{kgf/cm}^2 \text{ の場合})$
土木学会	$l_{da} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \frac{f_{yd}}{4 \cdot f_{b0.0}} \cdot \phi \quad (\text{cm})$ $\alpha_1: \text{係数}$ $\alpha_2: \text{係数}$ $\alpha_3: \text{係数}$ $f_{yd}: \text{鉄筋の設計降伏強度} (\text{kgf/cm}^2)$ $f_{b0.0}: \text{コンクリート設計付着強度} (\text{kgf/cm}^2)$ $\phi: \text{鉄筋の直径} (\text{cm}) \leq D32$	NZS 3101	$l_{da} = \frac{242.7 \cdot A_s}{\sqrt{f_c}} \quad (\text{cm})$ $\text{かぶり厚さ: } 4.0 \text{cm 以上}$ $\text{あき: } 10 \text{cm 以上}$ $d_b: 2.0 \text{cm 以上 の場合}$ $A_s: \text{鉄筋断面積} (\text{cm}^2)$ $f_c: \text{コンクリート設計規準強度} (\text{kgf/cm}^2)$ $(f_y = 2800 \text{kgf/cm}^2 \text{ の場合})$

これらの仕様書、規準、法規の規定からも窺えるが、継手は原則的には鉄筋応力の小さいところに設けることになっているが、主として施工上の理由から応力の大きいところ、例えば部材の固定端の近傍、プレキャスト部材の接合部などに設けるなどの要求が多くなり、この場合には鉄筋の降伏点強度をフルに伝達できる継手も必要とされ、研究面でもそのような継手を作る努力がされている現状である。

重ね継手に限った事ではないが、一般に継手は本来、接合しようとする鉄筋一本の耐力性能をそのまま伝達させるものである。

従来より一般に行われている均等曲げモーメントの下での重ね継手の実験から観察されることであるが、継手の重ね長さが十分に長い場合には、継手中央では2倍の鉄筋量の連続筋が存在すると同様な状態である事が認められる。これは見方を変えれば応力伝達を可能とする十分な重ね長さを持つ重ね継手は、個々の鉄筋において、重ね長さの中央からそれぞれの鉄筋の末端までを定着とする鉄筋とも言える。本研究はこの事に着目して、適切な長さの重ね継手を曲げモーメント勾配のある部材の最大曲げモーメントピーク点に、この重ね継手の中心を合わせて配筋すればモーメントピーク点では、重ね継手部分は2本分の鉄筋力を発揮させることも可能であることを実証し、そのための配筋方法を提案しようとするものである。

第2節 本研究の意図

重ね継手に関する既往の研究はその多くが、継手部が均等曲げモーメントのみを受けるとしたもので、それらは重ね継手を鉄筋1本とした時の耐力性能を発揮させるための研究が大部分である。その中で継手長さが十分に長い場合には、継手中央において2倍の鉄筋量の連続筋と同様な状態であることが認識されているが、本研究のような重ね継手自体の剛性、耐力を積極的に設計に取り入れようとする研究はなく、少数ながら曲げせん断領域に重ね継手を設けた実験^{43)~47)}が見られる。しかしこれらの研究も重ね継手を1本の鉄筋としての応力伝達を可能とするかどうかといった従属的なものと言える。本研究では重ね継手自体の耐力、剛性を利用しようとするもので、板状部材、特にスラブを対象とし、これらの部材のモーメントピーク点上に重ねの中心を置く重ね継手を用いることで合理的な配筋が得られると考え、そのためにはモーメントピーク点上に設けられた重ね継手における応力伝達機構、破壊状況、剛性、耐力などを明確にしておく必要があると言える。

図 I . 2. 1は Fergusonら⁸⁹⁾による引張鉄筋重ね継手の歪測定値より得られた鉄筋の応力分布状態を示したものである。継手はスパイラル筋により早期の付着割裂が生じないように十分に補強された場合である。図に示すように重ね継手が破壊する荷重 P_u 時に近い荷重時(図では $0.95P_u$ 、 $0.76P_u$ など)には、継手起点より末端まで応力変化はほぼ直線的で、付着応力の均等分布が推測される。一方、 P が比較的小さい時には、継手の起点と末端の近傍で鉄筋応力変化が大きく、重ねの中央部分には応力がほぼ一定の帯があることが分かる。一般に重ね継手ではこの様な応力状況の推移により継手が付着破壊するものと考えられる。

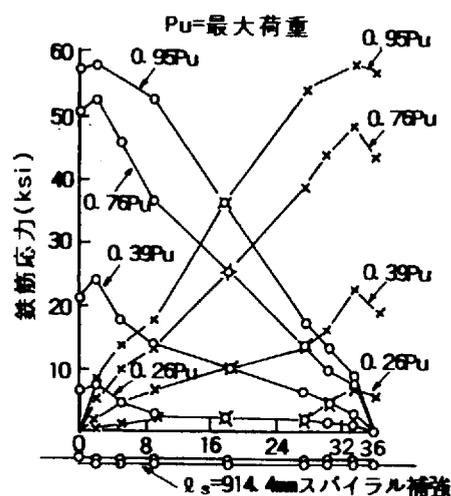


図 I . 2. 1 重ね継手の鉄筋
応力分布の例⁸⁹⁾

以上の認識をふまえて、重ね継手部の応力状態の推移を模式的に示したのが図 I.2.2である。後の説明とつなげるために負の均等曲げモーメントを受けるRCはりの上端引張鉄筋の重ね継手の場合とした。継手の起点応力 σ_t の増大に従い図 I.2.2(a)→(b)→(c)と変化する。また図 I.2.2(d)は重ね継手長さが十分に長い場合の $\sigma_t = \sigma_y$ (鉄筋降伏点)時の応力分布状態を推測したものである。図に示すように継手部の鉄筋がその付着応力を介して引張応力の相互伝達を十分に行っている限りは継手中央部分の鉄筋応力は継手起点応力 σ_t の $1/2$ にとどまり、継手の中央では2倍の鉄筋量の連続筋が存在すると同等な状態であることが分かる。

このことは換言すると、重ね継手は、重ね長さの中央点から個々の鉄筋の自由端(末端)までの定着とも考えられるわけである。

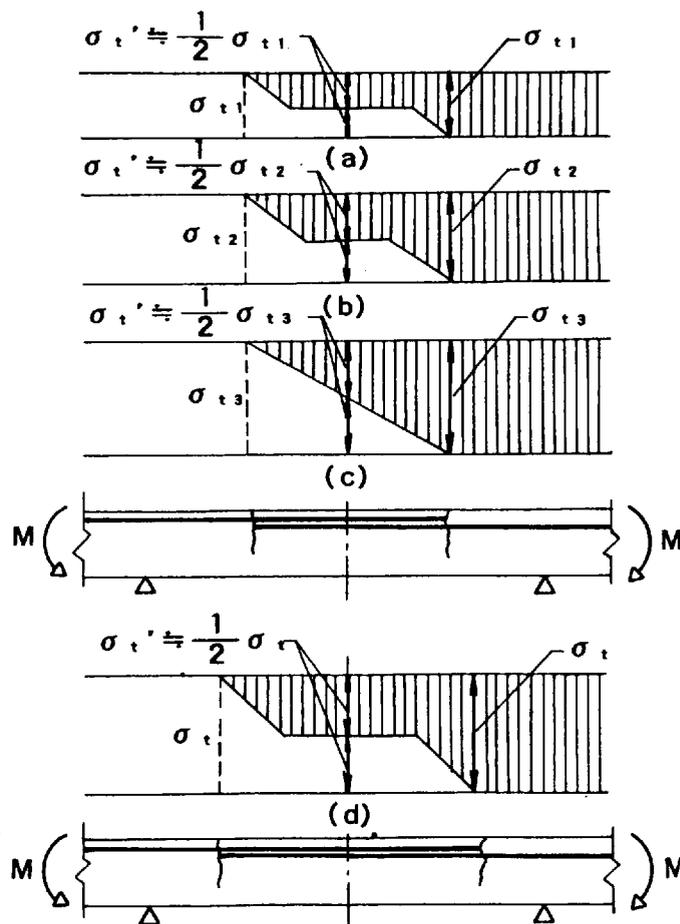


図 I.2.2 均等曲げモーメントを受ける場合の鉄筋応力分布

図 I . 2.2(a)～(c)および(d) は継手全域が均等曲げモーメントを受ける場合であり、継手が健全である限り、重ね中央点の鉄筋応力 σ_t' は起点応力 σ_t の $1/2$ 以上にはなり得ない。

図 I . 2.3は継手部中央が曲げモーメント分布のピーク点におかれるような場合である。この場合には付着が健全であれば、継手中央点の応力 σ_t' は、継手起点応力 σ_t の $1/2$ 以上になり得る。その極端な場合は、

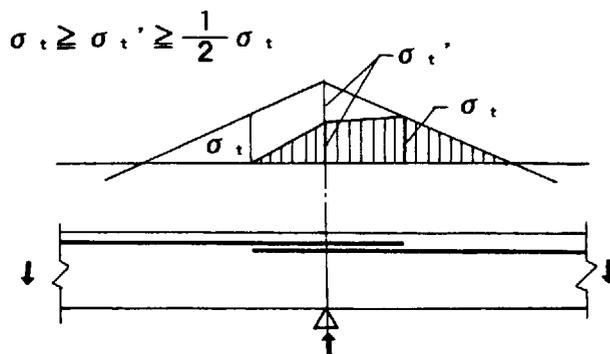


図 I . 2.3 継手部中央が曲げモーメント分布ピーク点にある場合

図 I . 2.4の場合であり、中央支持点上の上端引張鉄筋に、十分な重ね長

さを持つ重ね継手を設ければ、言い替えれば中央点より適切な長さの定着長さをとれば、応力分布は図 I . 2.4に示す状態となり継手起点 A 点で鉄筋 1 本分の性能をもたせた上で、継手中央点 B 点で鉄筋 2 本分の性能を発揮させることが可能となると考えられる。

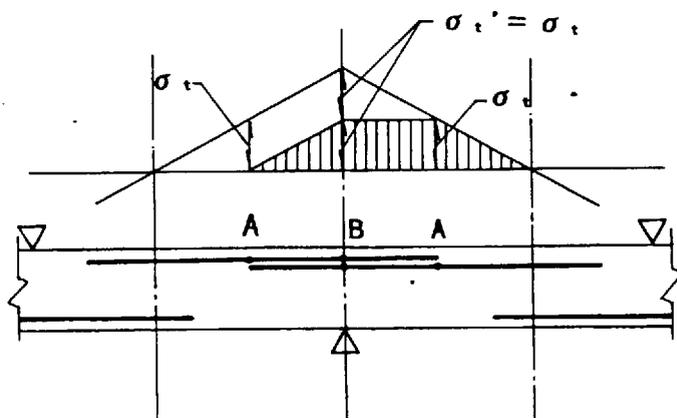
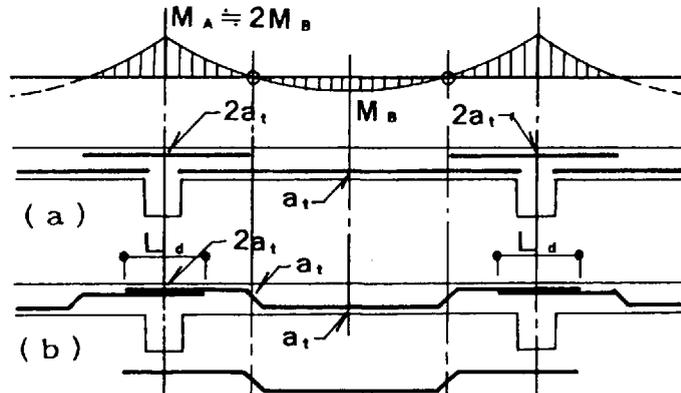


図 I . 2.4 曲げモーメントピーク点にある重ね継手の鉄筋応力分布

一般に連続スラブの配筋では、負の端モーメント M_A 、正の中央モーメント M_B の大きさ、分布を勘案して図 I . 2.5(a) のように配筋される事が普通である。これを図 I . 2.5(b) ように断面積 a_t の折り曲げ筋を配筋し、中間支持点上で適切な重ね長さ (L_d) を取れば、支持点上では $2a_t$ 、スパン中央では a_t の量が有効に作用すると考えられる。

このように本研究の意図としては、連続スラブ中間支持点上で2本分の耐力、剛性を発揮させるための、上端筋重ね継手の適切な長さを研究するものであり、特にこの場合の重ね継手は、せん断力の影響下であり、また上端筋ということから付着割裂が生じ易い条件下にもあるといえる。こうした点に着目して本研究は実験的に研究をするものである。



- 折り曲げ筋
- (a) 通常（慣用）の配筋法
 - (b) 曲げモーメントピーク点での重ね継手の特性を利用した配筋法（本研究の提案配筋）

図 I . 2 . 5 連続スラブの配筋

第3節 本研究の構成

前述したように本来1本の鉄筋力を伝達させる重ね継手も、その配筋場所を選べば、2本分の鉄筋力を発揮させることが可能と考えられる。

そこで本研究では第II章において、まず重ね継手についての既往の諸研究を概観し、重ね継手の力学的性能に与える諸要因、継手長さ、鉄筋強度およびコンクリート強度、かぶり厚さ、補強筋などの影響を具体的に検討整理し、重ね継手単体の構造特性の把握に努め、本論文の主目的としたところの重ね継手自体の剛性、耐力を積極的に利用して、2本分の性能を持たせようとする配筋方法の可能性と問題点を明らかにしようとする。

さらに第III章では第II章の既往研究に基づいて、このような重ね継手の可能性を確認するための実験を実施する。すなわち本研究では連続スラブの中間支持点上に設けた重ね継手の配筋を対象としていることから、まずシリーズIとして、中間支持点の上端引張筋に重ね継手を設けた静定単純支持ばりにおけるパイロットテストを実施し、基本的な性状を把握することに勤める。さらにこれに基づいてシリーズIIでは、継手性能を左右する各種の条件下（せん断力の大小、直交筋の位置、重ね継手の位置など）での重ね継手についての諸性状を調べ、さらにその上でシリーズIII、シリーズIVとして、実際に即した不静定連続ばりによりパイロットテストである確認実験および本実験を行う。それを基に、それらを総括してこのような重ね継手の配筋について、実用式を提案するものである。

第IV章では全体に総括的し、各章、各節をまとめ、今後の問題点を期する。

第II章 重ね継手についての既往の研究に基づく考察

第1節 鉄筋重ね継手の構造特性に及ぼす諸要因

1.1 序

重ね継手は鉄筋と継手部周囲のコンクリートとの付着を利用して、一方の鉄筋の応力を他方の鉄筋に伝達するメカニズムである。一般に鉄筋に応力が生じると鉄筋表面の節と周囲のコンクリートとの機械的噛み合いにより、鉄筋軸に平行な

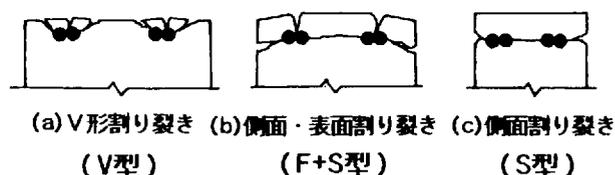


図11.1.1 付着割裂破壊モード

成分が付着力として作用し、さらに周囲のコンクリートには鉄筋軸に対して斜め方向の放射応力が発生することになる。この放射状の応力は、周囲のコンクリートを押し広げようとして作用し、コンクリートの引張強度を超えたとき、鉄筋に沿ったひび割れが生じることになり、重ね合わされた鉄筋はかぶりコンクリートを割裂することとなる。この割裂破壊はかぶり厚さと鉄筋間隔により、一般に図11.1.1に示したように重ね継手相互のあきが小さい場合の破壊、かぶりが小さい場合の破壊、あきが十分大きくかぶりが小さい場合の3タイプの破壊になることは知られている。

重ね継手については1950年代初頭から、前述のような継手部の力学的性状の単純な評価と基本性能との関連において論じられている。ここでは引用した研究論文および報告などから実験法の種類、鉄筋径および鉄筋強度、コンクリート強度についてまとめたのが、図11.1.2である。これによると年代を問わずほとんどがはりに対する曲げ形式によるものであり、継手部の鉄筋が一様な曲げ応力を受けているとした純曲げ実験であることがわかるが、最近では重ね継手を曲げせん断領域に設けた実験が増え、重ね継手の使用範囲の拡大を窺い知ることができる。また鉄筋種別では鉄筋強度が3500~4000kgf/cm²の高強度の範囲で、鉄筋径別ではD16、D19が大半を占める中で、太径鉄筋を用いた実験が目につく。またコンクリート強度では210~350kgf/cm²の範囲で実施されたものが大部分である。⁸⁾⁹⁾

以下では、重ね継手の諸要因について概観する。

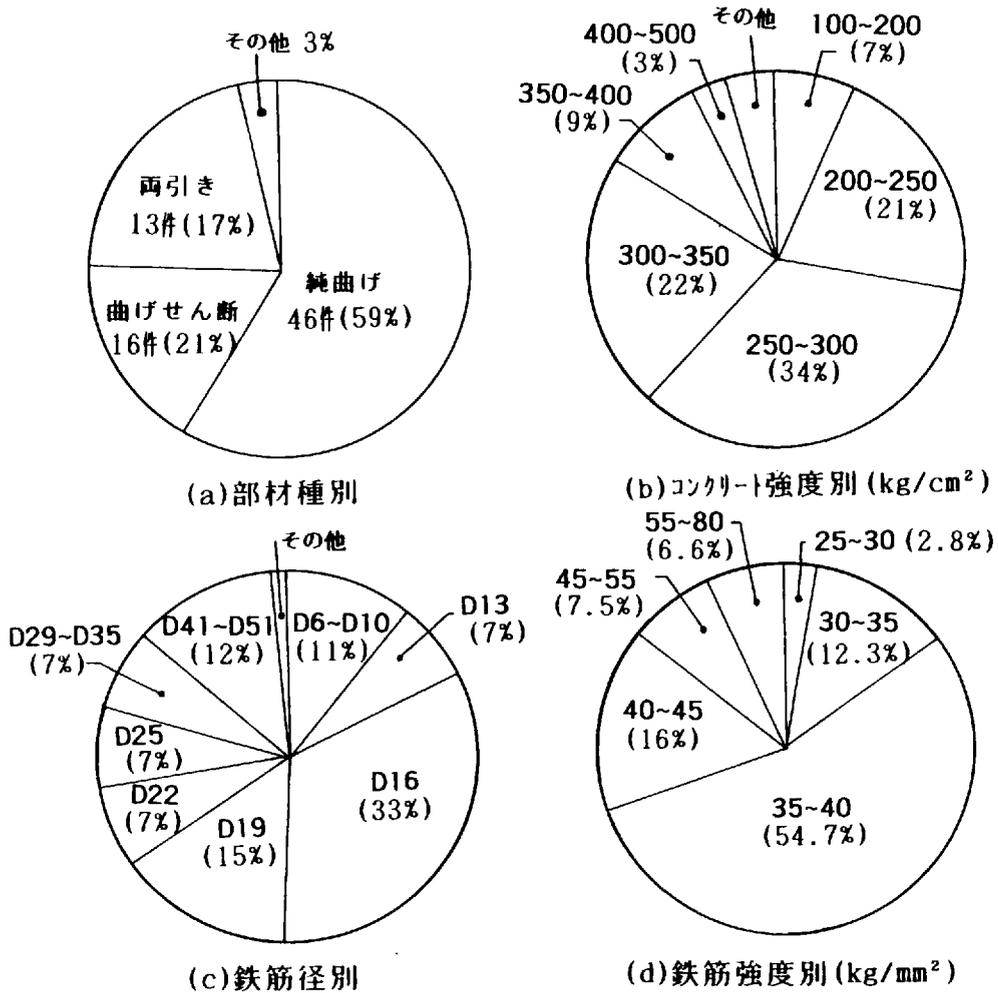


図 II . 1 . 2

1.2 重ね継手長さ

重ね継手はコンクリートとの付着により鉄筋の応力を伝達するメカニズムを有するため、その継手性能に影響を及ぼす多くの要因が考えられる。その中でも重ね長さを扱った実験が最も多い。重ね継手は、付着によって鉄筋に作用する引張力が回りのコンクリートを介してもう一方の鉄筋に伝達されることから、付着特性と共に鉄筋およびその周囲の力学的特性が継手の強度を支

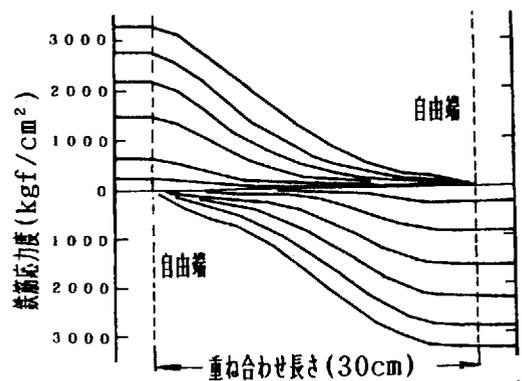


図 II . 1 . 3 鉄筋応力分布 (鶏籠¹⁾)

配する主な要因である。

図 II . 1.3 に示すように一般に、重ね継手の鉄筋応力度分布がよく知られている。¹⁷⁾ 荷重の小さい段階では 2 本の鉄筋応力の和が継手の中央部で著しく小さく、コンクリートが引張力の大部分を分担し、コンクリートの引張力の分担の比率が小さくなっている。また図 II . 1.4 に示すように荷重の小さい段階では載荷端付近にしか付着応力が生じないが、荷重が増加すると継手中央部の歪も大きくなり、付着の中心が継手中央へと移動し、最大付着応力、付着応力の作用する範囲が共に増加する。

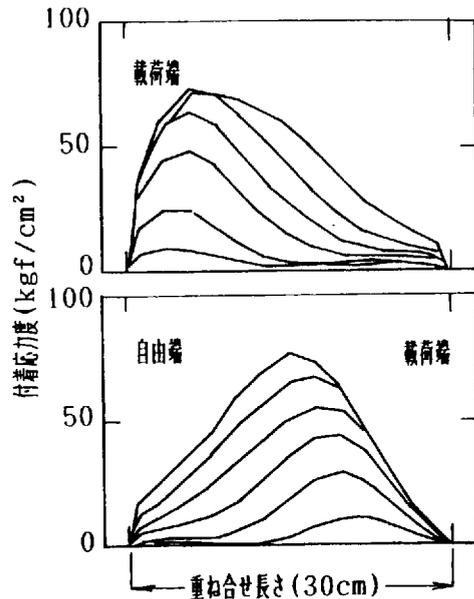


図 II . 1.4 付着応力分布(実験的¹⁷⁾)

一般に重ね長さが小さいときには、破壊直前の継手部鉄筋の歪は継手全長にわたり、ほぼ一定の勾配、つまり付着応力分布がほぼ均一であるが、重ね長さが大きくなるとその分布は不均一になるが、横補強筋が十分に施されていると均一化され、付着強度が増大するという報告もある。^{37)・40)} また継手長さ

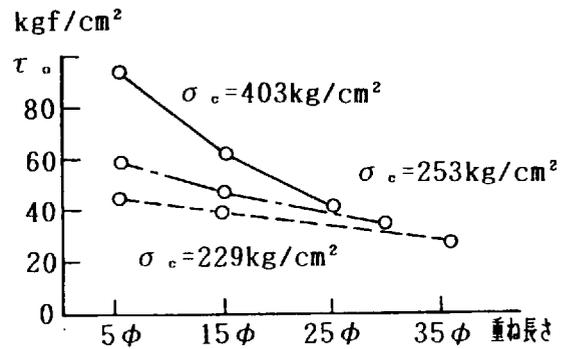


図 II . 1.5 重ね長さと付着強度(池田¹⁰⁾)

をいくら長くしても引張力の伝達に有効な領域がある長さ限定されるとの指摘もある。⁶⁹⁾ 図 II . 1.5 には重ね長さが短い場合には、コンクリート強度の影響を受けやすく、付着応力が大きくなる傾向も示され、¹⁰⁾ 重ね長さが長い場合、図 II . 1.6 のように鉄筋降伏後、付着割裂破壊する場合には、変形の増大に比べ、耐力の増大はあまりみられない。つまり重ね長さが長くなっても耐力は増大しないが、変形能は大きくなる。継手耐力は鉄

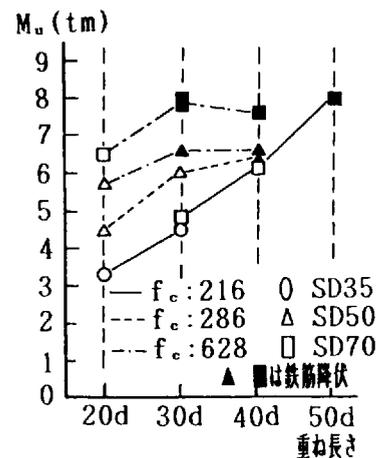
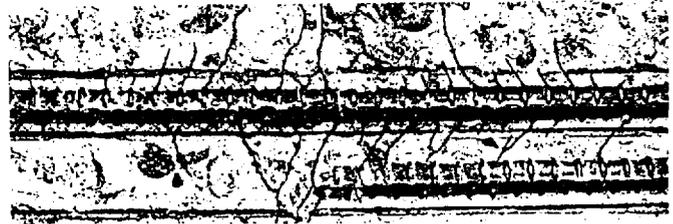


図 II . 1.6 重ね長さと終局モーメント(熊地²³⁾)

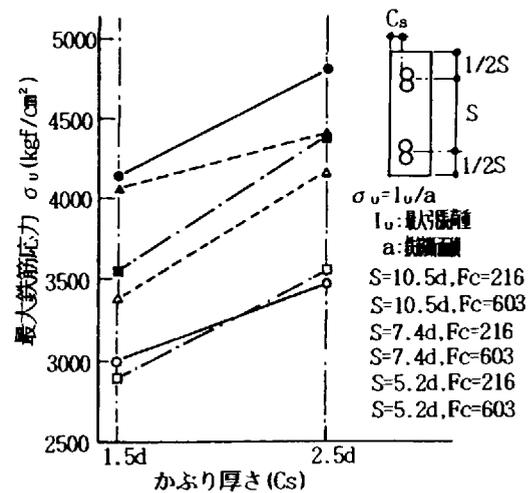
筋降伏以前では重ね長さにほぼ比例し、試験体の耐力は大きくなる。^{23)・85)} また重ね長さが十分あれば、長期応力 ($\sigma = 2000 \text{kgf/cm}^2$) 時のひび割れ幅は0.2mm以下となり、ひび割れ幅の問題はクリアできるとの報告もある。⁸³⁾

1.3 かぶり厚さと鉄筋間隔

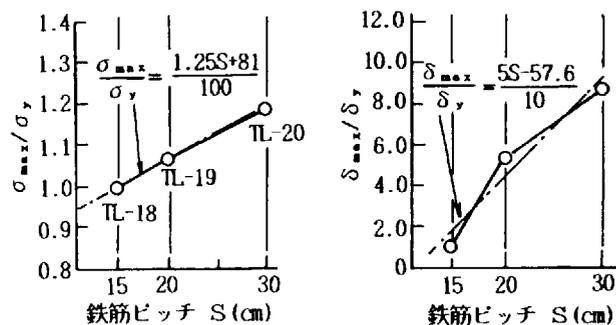
重ね継手の破壊形式は前述のコンクリートのかぶり厚さと鉄筋ピッチとの大きさにより、図II.1.1のような3つ 写真II.1.1 継手端部付近の内部ひび割れ(継手²⁹⁾のモードに分類される。かぶり厚さが極端に小さい場合、鉄筋上のかぶりコンクリートがV型の割裂破壊となり、鉄筋上面および側面のかぶり厚さが小さく、鉄筋ピッチ



ちが小さい場合、上面および側面が割裂するF+S型の割裂破壊、鉄筋ピッチが小さい場合、継手部のかぶりコンクリートが全体的に割裂するS型の割裂破壊となる。これらの破壊は、写真II.1.1²⁹⁾に示すように鉄筋表面の節から発生したくしの歯状の斜めひび割れが周囲のコンクリートを放射状に押し広げようと作用し、鉄筋軸に対して、その円周方向に引張力が発生することによって起こる付着ひび割れと呼ばれている。付着ひび割れは継手面端より内部へと進展するので、十分な重ね長さとかぶり厚さを要する。こうしたことからかぶり厚さと鉄筋間隔に関しては、破壊時の付着応力、つまり継手端の鉄筋応力は、図II.1.7、図II.1.8に示すようにか



図II.1.7 かぶり厚さと最大鉄筋応力(継手⁸⁴⁾)



図II.1.8 鉄筋ピッチと σ_{max}/σ_y 、及び δ_{max}/δ_y との関係(継手⁸⁴⁾)

ぶり厚さおよび鉄筋間隔に比例して増大する。⁸⁴⁾ 重ね長さとの関係については今尚結論は得られていないが、かぶり厚さが大きく、重ね継手長さが長くなるほど、横補強筋なしでも破壊強度が増加することの報告^{28), 30)} もあり、一般的にはかぶり厚さが大きいほど、継手耐力は高くなる。またかぶりが十分であれば、鉄筋径を変えても付着応力度分布から鉄筋径に無関係にほぼ同様であったという指摘^{81), 9), 69)} もある。特に太径鉄筋の場合には縦ひび割れが発生しやすいので大きなかぶり厚さが必要であると言える。

鉄筋間隔については間隔に比例して、継手耐力が増大する。しかし付着割裂破壊モードは鉄筋間隔とかぶり厚さとの関係により異なり、鉄筋間隔がある程度大きくなるとかぶり厚さとの関連で頭打ちになるとの指摘もある。これらの研究は継手筋が密着した状態の継手に関するものであり、継手筋を或間隔離したあき継手に関する力学的性状を調べた既往の研究は少なく、はなれが大きいほど継手耐力が低下し⁸⁴⁾、重ね長さ30dの場合、はなれ1dでは、はなれなしと同等の性能を示すが、はなれが3dでは付着応力やひび割れ性状に欠点が生じるとの報告⁸⁵⁾ もあり、またプレキャスト部材の接合部に用いた場合には、あき継手は破壊耐力、

変形能力とも密着継手の成績を上回るという報告⁵⁸⁾ もある。田中等^{18), 20)} は高強度鉄筋を用いた場合には、6d (d:鉄筋径) のあきまで許容でき、その場合には有効重ね継手長さが存在し、また中

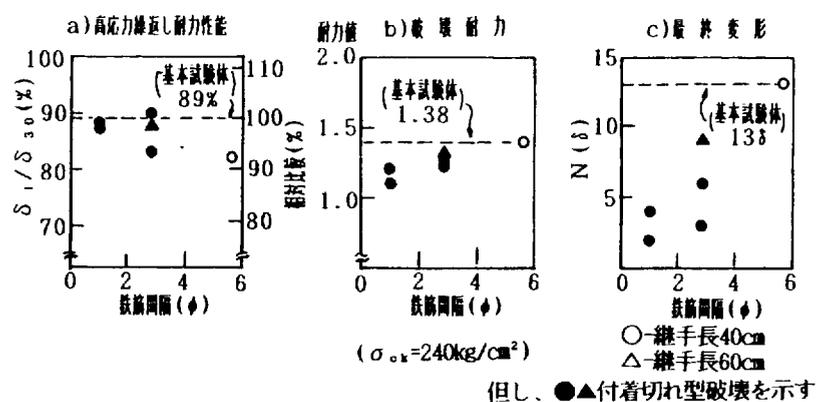


図 1.9 鉄筋間隔と各結果の関係(小林⁵⁸⁾)

筋の場合にはあきのないものよりあき寸法のあるものの方が最大荷重が大きく、重ね長さが同一の場合には、あき寸法が大きくなると剛性が低下する傾向にあると報告している。

1.4 継手の位置、集中度

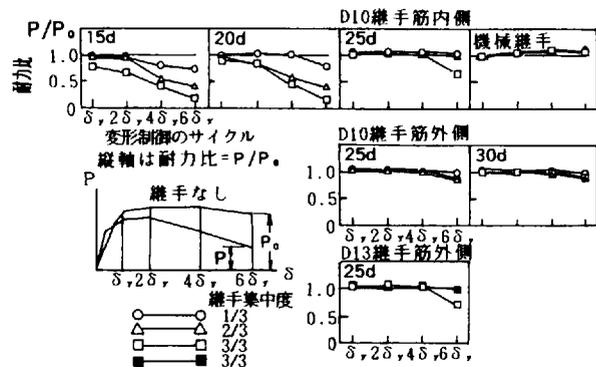
重ね継手については、法的に現行では上端筋、下端筋の区別は特に設けられて

いないので、上端筋であっても40d以上であれば任意の位置に継手を設けることが法的には可能であるが、武藤等^{2), 3)} ははりたけが高い程、上端筋の付着が悪くなり、上端筋の継手耐力は下端筋の約85%になることを、また重ね方には耐力に影響しないと報告している。これに反して実森等¹⁷⁾ は上端筋より下端筋における重ね方の影響を指摘した。集中度に関しては、榎本等¹³⁾ は重ね継手集中度がRCはりの疲労特性に及ぼす影響として、重ね継手を同一断面に集中させると、継手端部のひび割れ幅が増大し、連続鉄筋が混在し、集中度が小さくなるとその傾向が減少し、疲労破壊を防止できることを、また小倉等^{21), 22)} は図II.1.10に示すように、継手集中度が小さく、

重ね長さが長いほど降伏後の靱性が大きく、最大荷重以後の耐力低下は緩慢になり、重ね長さが長ければ継手を一断面に集中させてはならないとは一概に言い切れないとしている。

小林等⁵⁶⁾ はプレキャスト部材の接合において、重ね継手を用いた場合

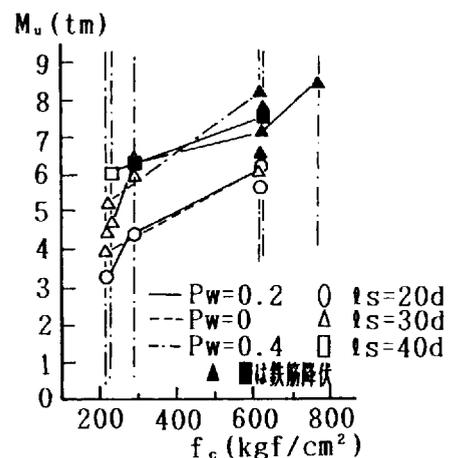
の実験において、継手部のコンクリート強度を高め、継手長さを長くすることで、一断面に集中させても良好な結果が得られるとしている。



図II.1.10 降伏以後の耐力比(林²²⁾)

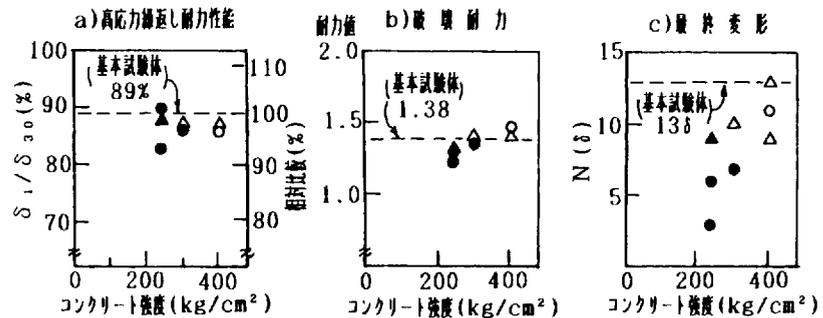
1.5 コンクリート強度および鉄筋強度

コンクリート強度に係るのは継手筋からのリングテンションの問題である。一般にリングテンションは継手端部に発生したひび割れ面近くで最も大きくなり、継手中央部に行くにしたがって次第に減少する。²⁹⁾ コンクリートに引張応力度を生じせしめ、コンクリートの引張強度は圧縮強度が大きくなるにつれて増大するが、その増加率は小さくなり、超高強度コンクリートでは頭打ちも見られるといわれており、



図II.1.11 コンクリート強度と終局モーメント(熊²³⁾)

角陸等²³⁾は図II.1.11に示すようにコンクリート強度が高いほど、継手耐力が大きくなるが、その増加率は強度が高いほど小さくなると指摘している。また小林等⁵⁶⁾は継手長さの長いあき継手について、継手部のコンクリート強度を高くするほど、破壊耐力および変形能力が良好であると報告している。コンクリート強度に関しては、重ね長さが短いほどその影響を受けやすく、コンクリート強度が高いほど継手効率が良いといえる。また横補強筋を配してもコンクリート強度が低い場合には継手効率が低下するとの報告もされている。⁷⁴⁾

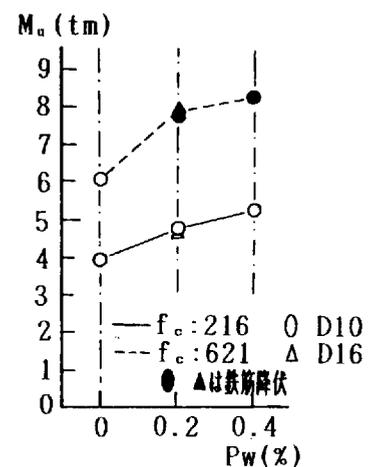


図II.1.12 継手部コンクリート強度と各結果の関係(小林等⁵⁶⁾)

鉄筋強度に関しては強度の影響より、鉄筋のふし形状の相違が影響するとの報告⁶⁾もあり、また田中等¹⁹⁾はSD50級の鉄筋の場合でも学会式で所要の重ね長さを確保しておけば、フックの有無にかかわらず曲げ終局耐力が発揮できること、フックなし重ね継手で40d、フックあり継手で30dが必要重ね長さであることなどが示された。

1.6 継手強度

継手補強には横補強筋、らせん筋、鋼管、くさび等によるものが提案され、その継手性能への影響が検討されている。継手部の横補強筋は、付着強度にどの様に寄与しているか、なお不明な点が多いが、生じた付着ひび割れの進展をコントロールし、付着強度の増加および付着割裂などの破壊を遅らせる効果、つまり継手部周囲のコンクリートを拘束する効果を高めることが知られている。角陸等²³⁾は図II.1.13に示すように、あばら筋比にほぼ比例して継手耐力が大きくなり、この時あばら筋径には影響さ



図II.1.13 あばら筋比と終局モーメント(角陸等²³⁾)

れないとしている。高橋等¹⁶⁾は重ね長さに対して有効な横補強筋量あるいは補強筋間隔があり、それ以下では拘束効果は期待できないとしている。小倉等²⁷⁾は重ね長さ1 cm当りの主筋を横切るあばら筋断面積をもってあばら筋量とし、割裂時の付着強度との関係を示した。それによると割裂付着強度とコンクリート圧縮強度との関係で、あばら筋を通常の2倍程度に強化しておくことが望ましいとしている。池田¹⁰⁾は横補強がなされていれば高応力の繰り返しに対してもある程度の耐力を保持できるとしている。また継手部をらせん筋によって補強した場合、らせん筋半径の大きい場合には補強効果が大きく、らせん筋のピッチが小さく、コンクリートの行き渡りが十分な場合には最大耐力が大きくなるとの報告³³⁾³⁵⁾もある。したがって横補強筋量が多いほど、また密に配筋されているほど継手強度は増大すると言えるが、辻等⁷⁴⁾

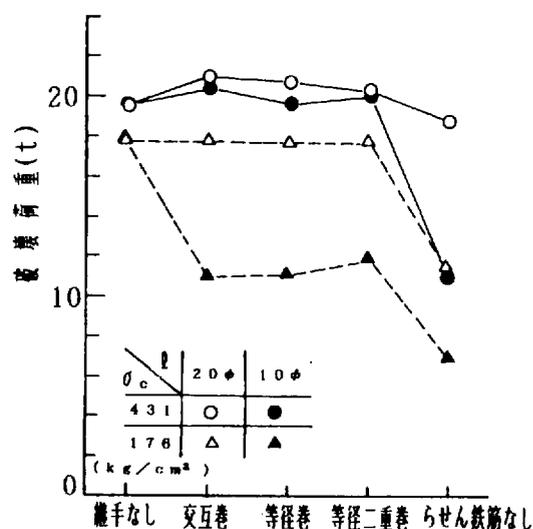


図 II . 1. 14 重ね継手の補強方法
破壊荷重(辻⁷⁴⁾)

は図 II . 1. 14 に示すように、同じらせん鉄筋による補強でも、コンクリート強度により継手効率が異なり、スターラップ補強では十分な補強が施されても、重ね長さが不足し、低強度のコンクリートでは継手効率は低下すると指摘している。これに対して、重ね継手部の破壊パターンに多い付着割裂破壊を防止するための補強方法の一つに、横補強筋は鉄筋が連なる割裂破壊の場合には効果がないとして、コ型フープ筋による補強が提案されている。³⁹⁾補強方法は引張応力場および曲げ応力場いずれの場合にも十分補強効果があり、コ型フープ筋の最低定着長さとして主筋径の3倍が提案されている。また小倉等²¹⁾、²²⁾、²⁴⁾は床スラブなどの板状部材に用いられる重ね継手の重ね長さの見直しから、これらに見られる付着割裂破壊の防止を目的とした継手端部に設けたはねだし防止筋が、降伏後に継手破壊するような重ね長さがある程度長い継手を用いると、継手なしとほぼ同等の靱性能を高める効果が期待できるとしている。このはねだし防止筋は定着長さやフックの有無より、むしろ防止筋の配筋間隔が重要で、適切な間隔を持って

配筋すれば耐力・靱性能の向上にきわめて有効であると角陸らは報告³⁹⁾している。

こうした補強方法に対して、池田等^{7) 8) 9)}は鉄筋同士が直接接合されていない重ね継手に対して、強度、靱性の点で不安が持たれるが、この2本の継手鉄筋が作用荷重によって互いに反対方向にずれようとする力を利用した拘束具による補強を考えだし、継手なしに比べて十分に降伏強度、ねばりを発揮し、繰り返しに対しても有効であり、さらにひび割れ幅の低減が見られたとしている。

1.7 継手端フック

一般に重ね継手においては鉄筋の応力伝達を確実に行うためには、十分な重ね継手長さを確保することによるが、継手端部にフックなどを設けることにより応力の伝達がより確実になり継手長さを低減でき、繰り返しの荷重に対しても有効であることが研究初期¹⁾から知られている。田中ら¹⁹⁾は重ね長さが同一ならばフックなしよりフック付きのほうが曲げ靱性は増大し靱性率が大きくなるとしている。またフック付きの重ね継手を危険断面位置に用いた実験においても良い結果を得ている。⁴²⁾ フックの効果

果はかぶりや横補強筋などによっても影響を受ける。かぶりが小さい場合はフックが継手強度を高める効果は期待できないが、かぶりが大きくなるにしたがって発揮される。この場合、フックの曲げ始め付近に横補強筋を配置することによって、さらにフックの効果がより発揮されるとの報告もある。³⁶⁾

1.8 曲げせん断実験における鉄筋重ね継手

最近のように深刻な労働者不足、品質管理に対する不安などを考えると、設計段階から施工の合理化を考える必要がある。特に施工の合理化を考えるならば、必然的に継手箇所は集中した位置に設けたい。しかし現行の規準においては、こ

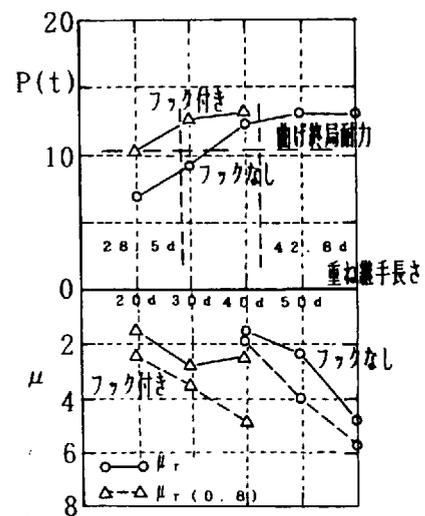
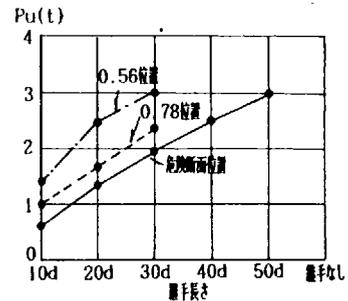
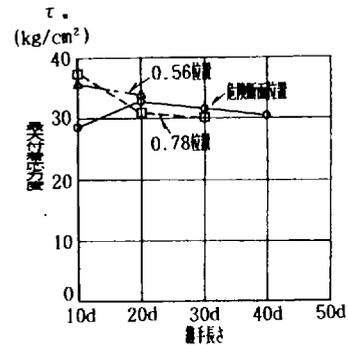


図 11.15 重ね長さと強度及び靱性の関係(田中¹⁹⁾)

れまでは地震時に大きな応力のかかる可能性のあるはり端部等には継手を設けないこと、または応力の大きい位置に集中して継手を設ける場合には、建物の耐力を割増さなければならないことが通例とされてきたが、はり端部等の応力の大きな位置での重ね継手が可能となれば、施工・工業化生産などの面において種々のメリットが考えられる。田中等^{43)・44)}は図II.1.16に示したように重ね長さを一定として、重ね継手を種々の部材応力レベルの箇所に設けたはり部材の曲げせん断実験を行い、継手位置の応力レベル、継手長さが強度、履歴性状に影響するとして、危険断面位置のように応力の大きいところであっても、重ね継手長さが適切であれば充分耐震性能のある部材が得られることを、津村等⁴⁶⁾ははり端部に重ね継手を設けた場合、フック付き継手はフックを用いないものより優れた変形性能を示し、またはり端に近い部分では付着強度が小さくなる傾向を指摘した。塚越等^{45)・47)}ははり端部の重ね継手について、継手部の鉄筋端部にフックを有さないもの、90°フックを有するもの、180°フックを有するものを対象とした耐震実験を行い、フック付きの場合には、重ね継手長さが20dあれば安定した履歴性状を示し、90°フックは180°フックより耐力低下の少ない靱性に富んでいることを示した。また角陸⁴⁸⁾は現行の規準ではSD40までしか規定されていないことに対して、高強度鉄筋を用いた柱筋の重ね継手について、曲げせん断実験を行った結果、重ね長さの短い試験体ほど最大荷重以降の荷重低下および繰返しによる剛性低下が大きく、横筋の影響に関しても最大荷重以後の性状に横筋量の多いものほど、また間隔の小さいものほど継手性能が向上するとしている。このように研究数が少ないにもかかわらず共通して適切な継手長さを確保すれば、継手を危険断面に設けても十分な耐震性が得られ、応力の大きい位置に継手を設けても最終的な耐力・変形性状は変わらないという報告が大部分である。



図II.1.16 各継手位置における継手長さと最大荷重の関係(田中⁴³⁾)



図II.1.17 継手の最大平均付着応力度(田中⁴³⁾)

1.9 太径鉄筋

近年では、構造物の大型化にともない太径鉄筋の有効利用と需要の増加の機運が高まっているが、太径鉄筋を効率よく組み立てるには、経済性・施工性・品質管理などの点において重ね継手が有効であると考えられる。

太径鉄筋について現行の日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」では、「D29以上の異形鉄筋には通常の場合、重ね継手を用いないものとする」と規定しているが、D29以上の太径鉄筋による重ね継手に関しては、いろいろな継手工法が研究されている。中山等⁷⁶⁾は柱脚塑性ヒンジ部において、太径鉄筋を重ね継手できるように継手部を鋼板で被覆し、拘束補強することによって優れた変形能を得られるとしている。増田等⁷⁵⁾は逆対称モーメントが作用する部材の内法スパン中央で主筋同士を突き合わせ、主筋より細径の添筋で補強することでよい結果を得ている。また重ね継手部の横補強に関して、矢代^{65)~68)}等がかぶり厚さを厚くするよりも継手部をあばら筋で十分に補強することにより付着効果が得られることを、土堅等⁶⁹⁾ 神山等⁷³⁾は重ね継手部をスターラップ補強を密にすることにより付着強度を増大させ、耐力、塑性変形を増大させることを、門司等⁷²⁾は横補強筋を配置することにより割裂破壊を防ぐとしている。また後藤等⁷¹⁾ 辻等⁷⁴⁾はスパイラル補強またはスターラップ補強との併用により縦ひび割れ防止効果と強度増加を上げている。このように最近の研究結果から判断すれば、太径鉄筋を重ね継手としてもよいものと思われるが、反面繰り返し荷重を受けると低下するといったことも報告されている。⁸⁷⁾

第2節 重ね継手に関する既往の研究

2.1 RCはりの重ね継手におけるスターラップの効果について¹⁸⁾

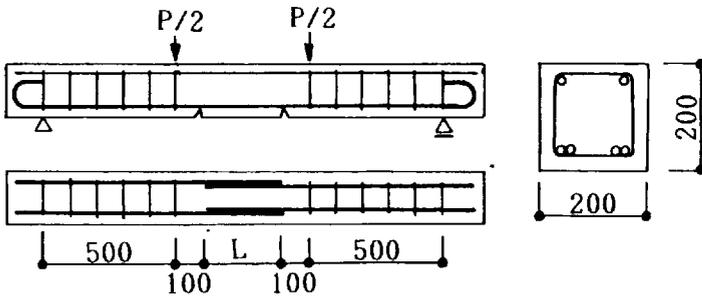
a. 実験概要

(1) 概要

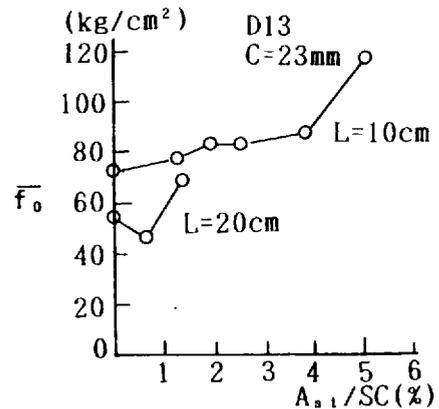
この研究は異形鉄筋の付着強度に影響を与える因子の中で継手部における横方向鉄筋（スターラップ）の補強効果が付着強度に寄与しているメカニズムについて実験的に検討したものである。

(2) 実験

実験供試体は図II.2.1に示すように、2点対称荷のはり部材とした。重ね継手は中央2点荷間とし、重ね継手両端には人口切り欠きを設けた。コンクリート圧縮強度は 316kgf/cm^2 、鉄筋はSD35とした。パラメータは重ね合わせ長さ $L=10$ 、 20cm 、かぶり厚さ $C=2.3, 4.5\text{cm}$ 、主筋径 $\phi=D13, D19$ 、横方向筋比 $A_{st}/SC=0\sim 5.0\%$ (A_{st} =スターラップ1本の断面積、 S =スターラップ間隔)とした。



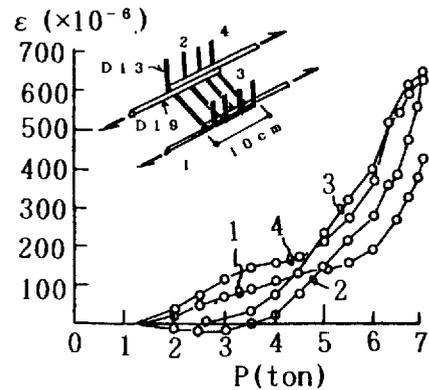
図II.2.1 供試体



図II.2.2 付着強度 \bar{f}_b と横方向鉄筋比 A_{st}/SC

b. 実験結果および考察

横方向筋はD13、D19共に図II.2.2に示すような A_{st}/SC が小さい範囲での増加が比較的小さく、ある程度多くなると有効になる。またスターラップの歪進展状況の図II.2.3より、重ね継手端部に近いスターラップの歪量が特に大きく、その本数が多いほど最終的な歪値は大きく、スターラップの間隔が大きければ、負担応力は低下し、拘束効果の影響を受けていることが分かる。



図II.2.3 スターラップの歪-荷重関係

2.2 異形鉄筋の重ね継手における付着応力度分布と継手強度¹⁷⁾

a. 実験概要

(1) 概要

付着に大きな影響をもつブリージングに関するスランプと鉄筋下に打設されるコンクリート深さを変化させ、重ね継手を平行継手と、鉛直継手とした場合の継手強度および付着応力分布を実験によって検討したものである。

(2) 実験

実験は図 II.2.4 に示すように、2 点对称載荷されたはり部材とし、重ね継手は中央 2 点載荷間に設けた。コンクリート強度はスランプ 8cm で 36.1 MPa、スランプ 21cm では 26.4 MPa であった。使用鉄筋は SD35 級の D19 とした。継手長さは 30cm、かぶり厚さは 5cm、鉄筋下に打設されるコンクリート深さは上端筋は 30cm、下端筋は 5 cm の 2 種とした。

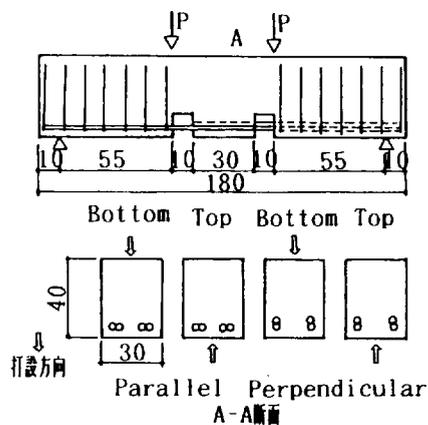


図 II.2.4 供試体

b. 実験結果および考察

重ね継手筋の応力度分布は図 II.2.5 のように、荷重の小さい段階では 2 本の鉄筋応力の和が継手の中央部で著しく小さく、コンクリートが引張力の大部分を分担し、コンクリートの引張力の分担比率が小さくなっていることを、また図 II.2.6 の付着応力度分布図から荷重の小さい段階では載荷端付近にしか付着応力が生じないが、荷重が増大すると最大付着応力、付着応力の作用する範囲共に増加し、上端筋は下端筋に比べて付着強度が小

さく、下端筋ではスランプの付着特性に対する影響が認められ、その影響は面垂直より横に幅広い面平行が顕著であった。

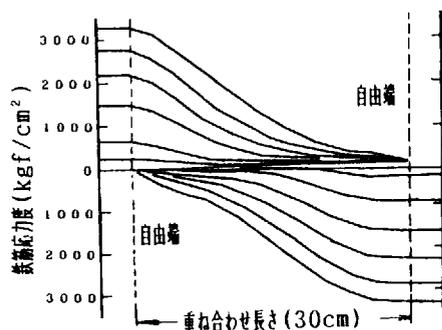


図 II.2.5 鉄筋応力度分布

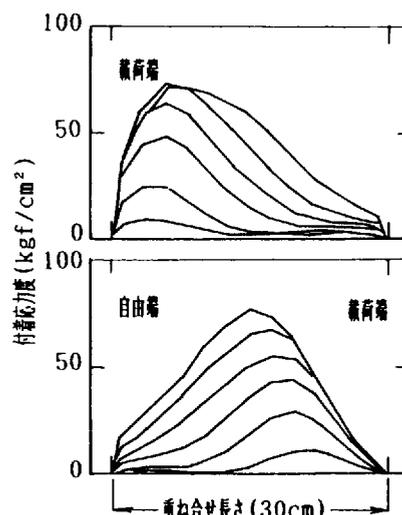


図 II.2.6 付着応力分布

2.3 引張形式による異形鉄筋の重ね継手強度試験²⁷⁾

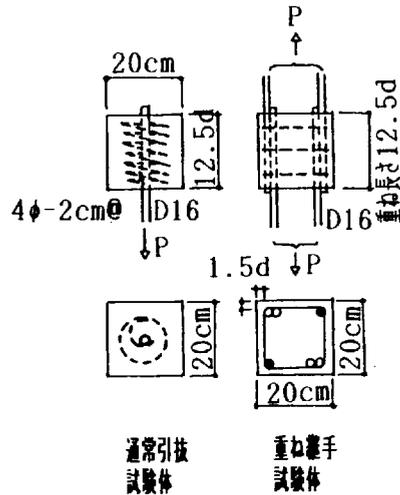
a. 実験概要

(1) 概要

曲げによるRCはりの継手破壊とはほぼ同じ破壊様相および破壊強度を得ることができる特殊な引張形式による継手強度試験により割裂付着強度に及ぼす横補強筋量の効果を調べた。

(2) 実験

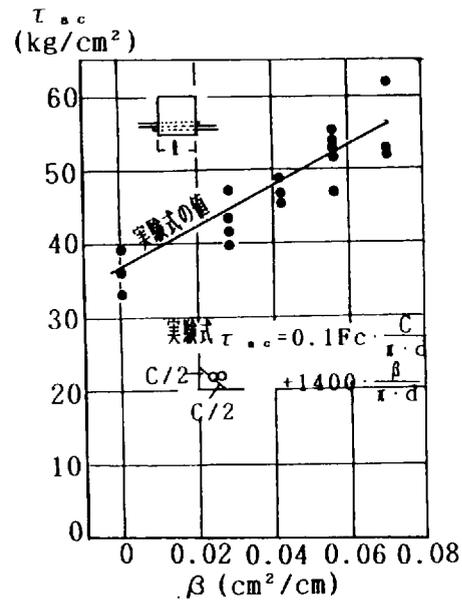
試験体形状を図II.2.7に示す。主筋にはD16、コンクリートかぶり厚さを1.5d、重ね長さを12.5dあばら筋を6φとした。



図II.2.7 試験体

b. 実験結果および考察

実験結果を表II.2.1に、また重ね長さ1cm当りの主筋を横切るあばら筋断面積を持ってあばら筋量 β (cm^2/cm)とし、割裂時の付着強度 τ_{ac} との関係を図II.2.8に示した。割裂付着強度は通常の引抜付着強度に比較して、かなり低下する。 $\beta=0\sim 0.07\text{cm}^2/\text{cm}$ の範囲では τ_{ac} は β にほぼ比例して増大する。重ね継手においては、フックあるいは溶接などの措置を講じない場合は、あばら筋量を通常の2倍程度に強化しておくことが望ましいと考える。



図II.2.8 割裂付着強度とあばら筋量の関係

表II.2.1 実験結果

重ね継手長さ	試験体種別	あばら筋の数	あばら筋量 β (cm^2/cm)	試験体数	τ_{ac} (kg/cm^2)	σ_t (t/cm^2)	δ_{max} (mm)	τ_{ac}/F_c	$\tau_{ac}/\tau_{0.25}$	τ_{ac}/τ_{max}
20 cm 12.5d	0-12D	0	0	3	36.2 (33.3-39.3)	1.81	0.05-0.09	0.14	0.33	0.31
	2-12D	2-6φ	0.028	5	42.9 (39.8-47.4)	2.15	0.1-0.19	0.17	0.39	0.37
	3-12D	3-6φ	0.042	3	45.8 (45.6-48.9)	2.34	0.1-0.2	0.18	0.42	0.40
	4-12D	4-6φ	0.056	5	52.4 (47.3-55.6)	2.62	0.15-0.48	0.21	0.48	0.45
	5-12D	5-6φ	0.070	3	56.1 (52.6-62.3)	2.81	0.4-0.63	0.22	0.51	0.48

○コンクリート強度 $F_c=254\text{kg}/\text{cm}^2$ (継手試験) スランブ 19cm 砂利 20mm 砂 1.2mm
 $F_c=251\text{kg}/\text{cm}^2$ (通常引抜試験)

○異形鉄筋 降伏点強度 $\sigma_y=4150\text{kg}/\text{cm}^2$

○ $\tau_{0.25}$, τ_{max} は通常引抜試験による自由端すべり0.25mm時および最大付着応力度

$\tau_{0.25}=110.2\text{kg}/\text{cm}^2$, $\tau_{max}=117.1\text{kg}/\text{cm}^2$

○ σ_t :最大荷重時鉄筋引張応力度 δ_{max} :最大荷重時自由端すべり

2.4 異形鉄筋の重ね継手に関する研究³⁰⁾

a. 実験概要

(1) 概要

本研究は重ね継手の破壊に多い縦ひび割れや内部ひび割れの面から異形鉄筋の重ね継手の応力伝達および破壊機構を明らかにし、太径鉄筋の重ね継手の効果的な補強方法について検討した。

(2) 実験

実験供試体を図 II.2.9 に示す。重ね継手の補強方法はスパイラル筋およびスターラップ補強とした。鉄筋は D 16、D 25、D 51 (SD35)、コンクリート圧縮強度は 325 kgf/cm^2 である。

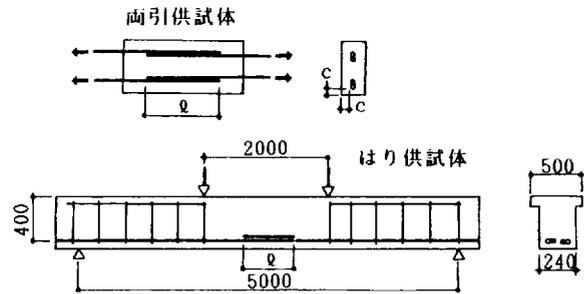


図 II.2.9 供試体形状

b. 実験結果および考察

実験結果を図 II.2.10、図 II.2.11 に示す。太径鉄筋の重ね継手の場合には、細径の場合と比べて、より縦ひび割れが発生し易く、かぶりが直径の12倍程度では

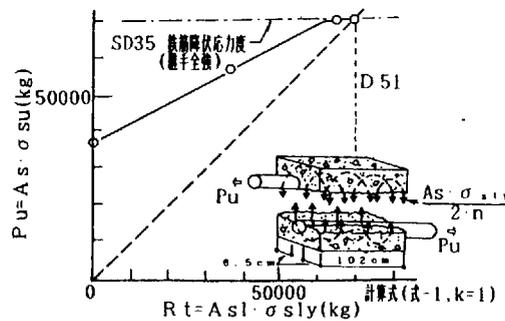
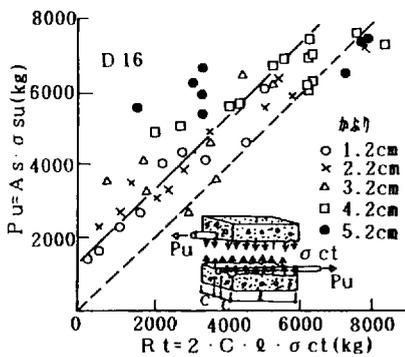


図 II.2.10 破壊荷重と引張抵抗力 図 II.2.11 破壊荷重と補強鉄筋量との関係

なんらかの継手部の横方向の補強が必要であり、スパイラル筋の場合にはコンクリートの引張力を無視した補強鉄筋量の80%程度でも十分効果があることを示した。

2.5 重ね継手の緊結および補強方法と強度の関係³⁾¹⁾

a. 実験概要

(1) 概要

この研究は、鉄筋の重ね継手の緊結箇所の数が継手強度に及ぼす影響を定量的に評価すると共に、らせん鉄筋による重ね継手の補強に対するコンクリートの行き渡りに関する問題点を改善する方法について検討した。

(2) 実験

実験供試体は図 II . 2. 12、図 II . 2. 13 に示す両引試験によった。また継手の補強方法は、表 II . 2. 2 に示す。尚使用したコンクリートは $304 \sim 330 \text{ kgf/cm}^2$ を、鉄筋は D 25、D 19 とした。

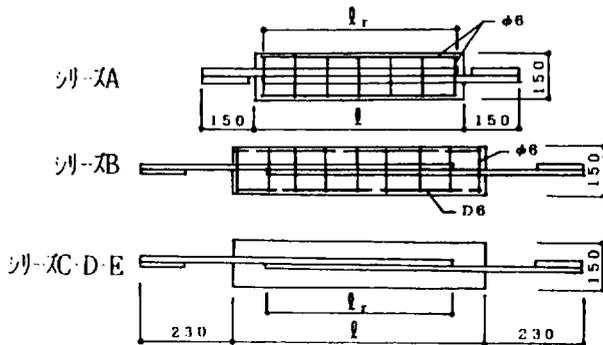


図 II . 2. 12 供試体の形状

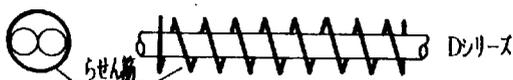
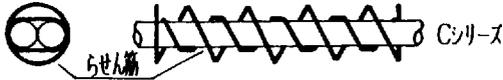


図 II . 2. 13 らせん鉄筋の補強方法

b. 実験結果および考察

実験結果を図 II . 2. 14、図 II . 2. 15、図 II . 2. 16 に示す。緊結箇所の数は5箇所以上になるとほぼ一定値に近づく傾向が見られる。最大耐力の鉄筋の引張耐力に対する比と重ね長さの鉄筋径に対する比 l_r/D との関係から、らせん鉄筋により継手を補強する場合には、等径巻および交互巻のいずれのらせん鉄筋を用いても重ね長さを約1/2 に減じ

表 II . 2. 2 供試体寸法

補強法	l_r (mm)	l_r (mm)	D^* (mm)	l_r/D	緊結箇所の数	シリーズ
帯鉄筋	300	250	25	10	1-2-3 5-9-13	A
	425	375		15		
	745	695		27.8		
帯鉄筋	900	190, 285, 380, 475, 569		10, 15, 20, 25, 29.4	2	B
交互巻 らせん鉄筋	900	95, 190, 285, 380, 475, 569		5, 10, 15, 20, 25, 29	2	C
等径巻 らせん鉄筋	900	95, 190, 285, 380, 475, 569		5, 10, 15, 20, 25, 29	2	D
無補強	900	190, 285, 569		10, 15, 29.4	2	E

*D: 主鉄筋の直径

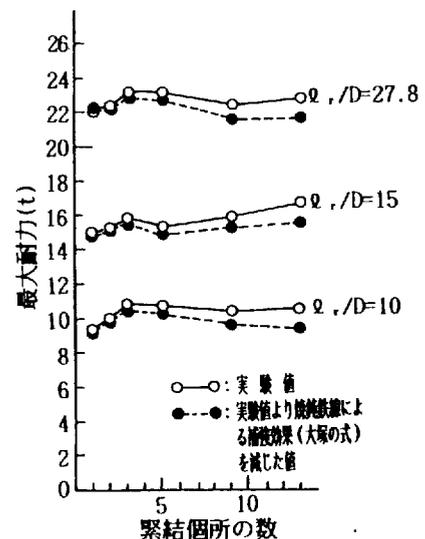


図 II . 2. 14 緊結箇所の数と最大耐力の関係

ても強度面において十分信頼のおける重ね継手が得られる。また破壊状況においてはブリットルな破壊性状を示すため、重ね継手の場合、横方向の補強を行う必要がある。

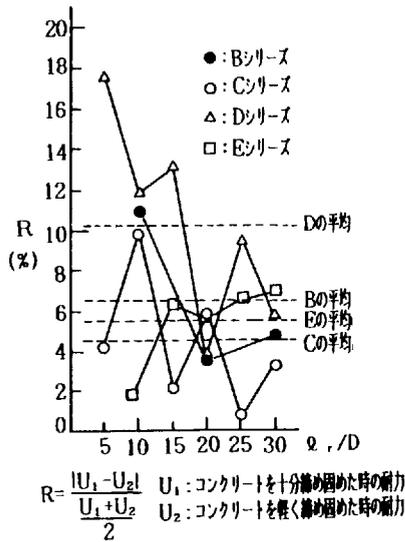


図 II . 2. 15 補強方法と最大耐力の関係

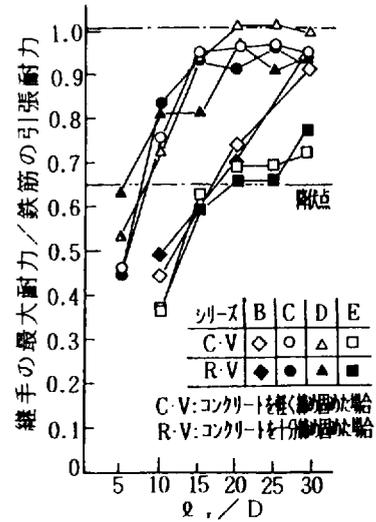


図 II . 2. 16 最大耐力の変動

2.6 異形鉄筋の重ね継手における横方向鉄筋の効果に関する実験的考察³⁷⁾

a. 実験概要

(1) 概要

本研究は、一定拘束圧下の両引供試体および重ね継手部に横方向鉄筋を配したはり供試体において、付着破壊実験を行い、横方向鉄筋の効果について考察した。

(2) 実験

供試体詳細を図 II . 2. 17、図 II . 2. 18 に示す。両引供試体の変数は側圧 $\sigma_{s,d}$ と重ね長さ L 、はり供試体は一様曲げモーメント区間に重ね継手を設け、重ね長さ L 、横方向筋 (D 10) の本数を変数とした。使用した鉄筋は D 19 (SD 35)、コンクリート強度は $300\text{kgf}/\text{cm}^2$ とした。

b. 実験結果

実験結果を図 II . 2. 19、図 II . 2. 20 に示す。ある側圧 $\sigma_{s,d}$ 以降では付着強度増分に限界があり、また図 II . 2. 19 から横方向鉄筋のない場合、 L が小さい時には

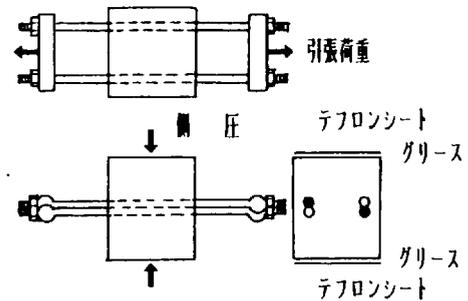


図 II . 2. 17 供試体(シリーズ I)

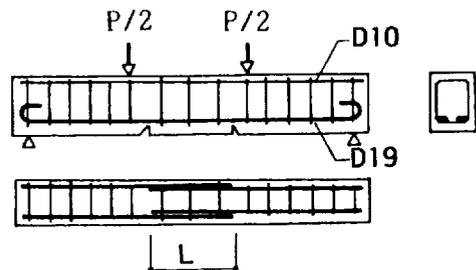


図 II . 2. 18 供試体(シリーズ II)

付着応力分布がほぼ均一であるのに対して、 L が大きくなるとその分布が不均一になるが、横方向筋を配置することによって均一化される傾向がある。更に図II.2.20からは単位かぶり面積当りの横方向鉄筋量がある値以上にならないければ、有効な拘束効果が得られないことが指摘された。

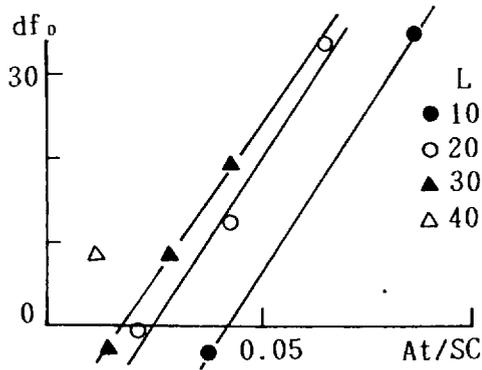


図 II . 2. 19 df_o - A_t/SC 関係

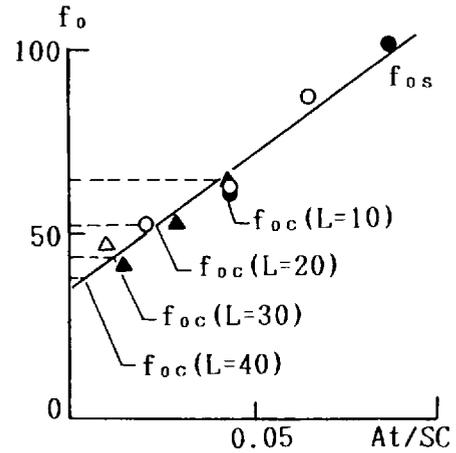


図 II . 2. 20 f_o - A_t/SC 関係

2.7 異形鉄筋重ね継手の補強に関する研究³⁹⁾

a. 実験概要

(1) 概要

重ね継手の付着割裂破壊を防ぐための補強方法として、3タイプの割裂破壊(V型割裂、S+F型割裂、S型割裂)のいずれにも有効であるコ型フープ筋補強について、両引および曲げ試験により補強効果の比較およびその使用について検討した。

(2) 実験

両引試験体および曲げ試験体の詳細および試験体一覧を図II.2.

21、図II.2.22、表II.2.3、表II.2.4

に示す。両引試験体の重ね長さは $25d$ 、かぶり厚さは $1.5d$ である。また曲げ試験体では重ね長さを $20d$ 、かぶり厚さを $1.5d$ とする。使用鉄筋は共にD19(SD35)、コンクリート圧縮強度は $163\sim 232\text{kgf/cm}^2$ とする。

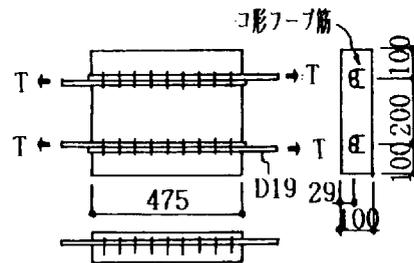


図 II . 2. 21 両引実験試験体図

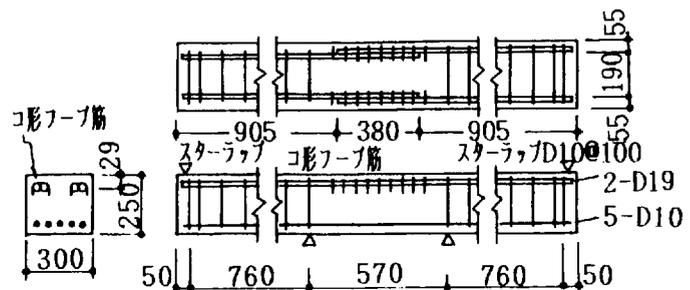


図 II . 2. 22 曲げ実験試験体図

表 II. 2. 3 両引実験試験体一覧

試験体	鉄筋間隔	補強方法
WT-01	200mm	鋼繊維
WT-02	100mm	鋼繊維
WT-03	200mm	横補強筋 D3, @ 50
WT-04	100mm	横補強筋 D3, @ 50
WT-05	200mm	スパイラル D3, @ 50, φ=60
WT-06	100mm	スパイラル D3, @ 50, φ=60
WT-07	200mm	コ形フープ D3, @ 50, B=60
WT-08	100mm	コ形フープ D3, @ 50, B=60
WT-09	100mm	補強筋なし

b. 実験結果および考察

両引実験結果を表 II. 2. 5 に、曲げ実験結果を表 II. 2. 6 に示した。両引試験の結果から図 II. 2. 23 には最大鉄筋応力を示した。無補強試験体と比較すると横筋補強で1.06、スパイラル筋補強で1.15~1.25、コ型フープ筋補強で1.18~1.26、鋼繊維補強で1.0~1.17 となる。横筋補強は鉄筋を連なる割裂破壊の場合には効果がないことが、また変形において、コ型フープ筋補強とスパイラル筋補強試験体は、若干最大荷重近くで変形が増加し、破壊形式からも補強効果が十分認められるものと言える。

これに対し、曲げ試験からは無補強試験体の最大荷重時鉄筋応力と比べ、コ型フープ筋補強各試験体の鉄筋応力はいずれも高く、その比は1.21~1.31、フープ筋の定着長さ、ピッチ、径の違いによる最大鉄筋応力の差異はほとんど見られない。補強筋の定着長さは主筋径の3倍以上あれば十分であるといえる。

表 II. 2. 4 曲げ実験試験体一覧

試験体	補強方法
BT-01	補強筋なし
BT-02	コ形フープ D3, @ 50, L=60
BT-03	コ形フープ D3, @ 50, L=120
BT-04	コ形フープ D6, @ 50, L=60
BT-05	コ形フープ D6, @ 50, L=60

*記号の説明

φ : スパイラル筋の巻径

B : コ形フープ筋の幅

L : コ形フープ筋の定着長さ

表 II. 2. 5 両引実験結果一覧

試験体記号	直交ひびわれ		付着ひびわれ		最大荷重		破壊形式
	ft	δ	ft	δ	ft	δ	
WT-01	1986	0.42	2641	0.69	2641	0.69	V
WT-02	1003	0.20	2624	0.58	3167	0.79	S
WT-03	1226	0.19	1878	0.37	3345	1.06	V
WT-04	1003	0.27	2017	0.55	3314	0.99	S
WT-05	1404	0.35	1909	0.49	3927	1.73	V
WT-06	1010	0.11	2289	0.35	3617	0.89	V
WT-07	1380	0.17	1732	0.26	3955	1.11	V
WT-08	1007	0.16	2007	0.34	3693	0.82	S+F
WT-09	868	0.20	2261	0.48	3132	0.81	S+F

* ft : 鉄筋応力(kg/cm²), δ : 伸び量(mm)

表 II. 2. 6 曲げ実験結果一覧

試験体記号	曲げひびわれ		付着ひびわれ		最大荷重		破壊形式
	ft	δ	ft	δ	ft	δ	
BT-01	704	0.25	2141	3.03	2263	3.49	V
BT-02	886	0.40	2314	3.35	2733	4.45	V
BT-03	886	0.49	2808	4.67	2808	4.67	V
BT-04	892	0.62	2141	2.91	2827	5.40	V
BT-05	880	0.43	2492	3.51	2958	5.93	V

* ft : 鉄筋応力(kg/cm²), δ : たわみ(mm)

ft=M/(a·j)

M: 曲げモーメント

a: 引張り鉄筋の全断面積

j: 応力中心距離(=7/8d)

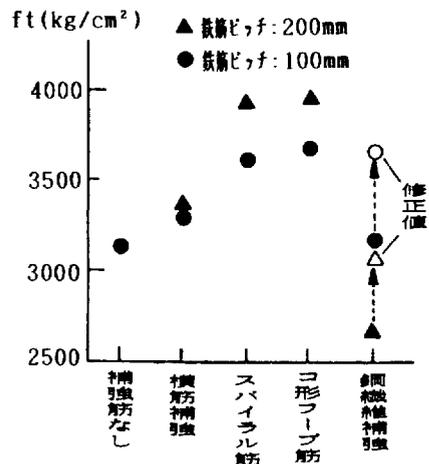


図 II. 2. 23 最大鉄筋応力値の比較

2.8 鉄筋の重ね継手の耐力特性に関する研究¹⁰⁾

a. 実験概要

(1) 概要

重ね継手の基本的な耐力特性としてのコンクリート強度、重ね長さ、継手補強金具の効果、フックの効果等に、継手部の補強効果および高応力繰り返し载荷の影響等について比較検討した。

(2) 実験

純曲げ区間に重ね継手を設け、供試体形状を図 II.2.24 に示した。コンクリート強度は 180、400kgf/cm²、重ね長さは 5~36d (d: 鉄筋径)、補強方法は無補強、標準配置のスターラップ補強、標準の 2 倍配置のスターラップ補強、補強金具、端部フック付きとした。

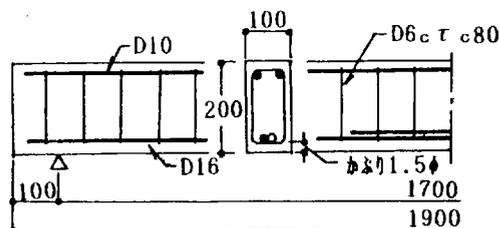


図 II.2.24 供試体の形状

b. 実験結果

繰返し载荷では、重ね長さを所要長さとしてスターラップ補強したもの、重ね長さを所要長さの 2/3 として補強金具を用いたものは継手のない場合とほぼ同様であった。(図 II.2.25) コンクリート強度の相違では重ね長さが小さい方がコンクリート強度の影響を受け易いことを、25d 以上の重ね長さではコンクリート強度の影響を受けない。(図 II.2.26、

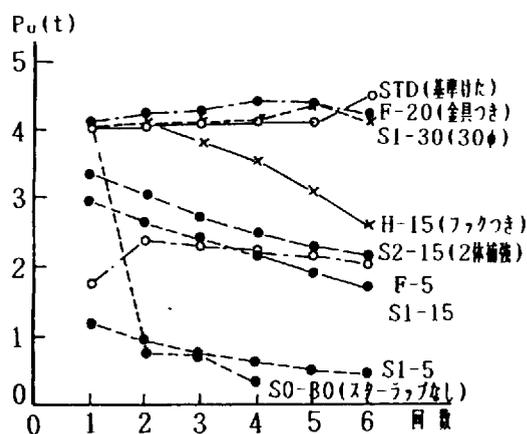


図 II.2.25 荷重の繰返しによる耐力の変化

図 II.2.27)

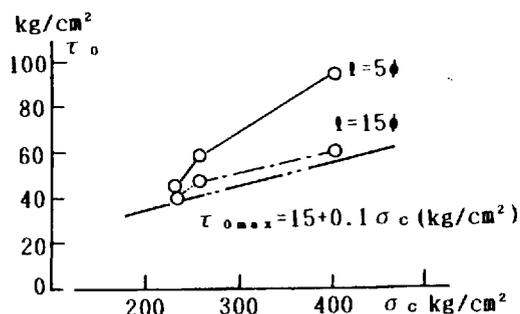


図 II.2.26 コンクリート強度と付着強度の関係

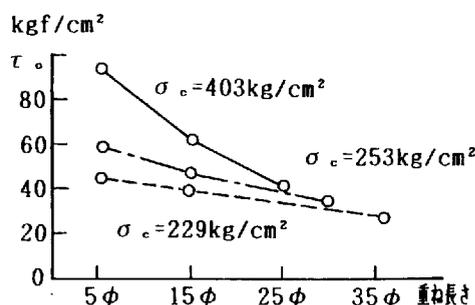


図 II.2.27 重ね合わせ長さと付着強度

2.9 引張鉄筋の重ね継手におけるフックの効果に関する研究³⁶⁾

a. 実験概要

(1) 概要

本研究は引張異形鉄筋の重ね継手を設けた両引供試体およびはり供試体により、継手強度、ひび割れ性状に及ぼすフックの効果がかぶりや横方向鉄筋などによってどの様に影響されるか実験的に検討した。

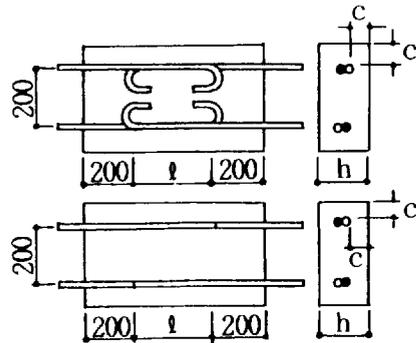


図 II. 2.28 両引供試体の形状寸法

両引供試体およびはり供試体の形状寸法を図 II. 2.28、図 II. 2.29 に、供試体一覧を表 II. 2.7、表 II. 2.8 に示した。コンクリート圧縮強度は 300kgf/cm^2 、主筋は SD35 の D 16、横方向鉄筋は D 10 とした。フックは 180° フックとした。

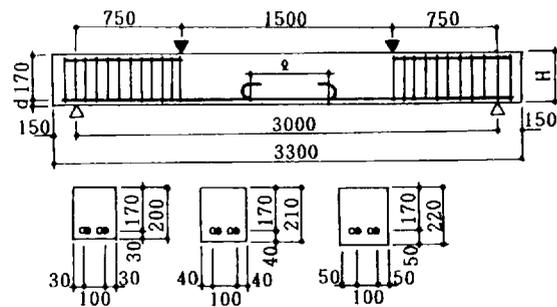


図 II. 2.29 はり供試体の形状寸法

表 II. 2.7 はり供試体の詳細

供試体番号	形状寸法 (cm)							フックの有無
	全長	スパン	全高	有効高さ	幅	重ね合わせ長さ(l)	かぶり	
1	330	300	20	17	16	20	2.2	有り
2	*	*	*	*	*	*	*	無し
3	*	*	*	*	*	30	*	*
4	*	*	*	*	*	63	*	*
5	*	*	*	*	*	26.7	*	有り
6	*	*	*	*	*	40	*	無し
7	*	*	21	*	18	20	3.2	有り
8	*	*	*	*	*	30	*	無し
9	*	*	22	*	20	20	4.2	有り
10	*	*	*	*	*	30	*	無し
11-21	320	*	23	20	16	20	2.2	有り
22	*	*	*	*	*	40	*	無し
23-25	*	*	*	*	*	15.8	*	有り
26	*	*	*	*	*	-	*	*

表 II. 2.8 両引供試体の詳細

供試体番号	形状寸法 (cm)					フックの有無
	全長	全高 (h)	幅	重ね合わせ長さ(l)	かぶり	
1, 2, 3	90	76	26	20	2.2	有り
4, 5, 6	*	*	*	*	*	無し
7, 8, 9	70	*	*	30	*	無し
10, 11, 12	103	*	*	63	*	無し
13, 14	66.7	*	*	26.7	*	有り
15, 16	88	*	*	40	*	無し
17, 18	60	96	28	20	3.2	有り
19	66	80	24	30	*	無し
20, 21	60	116	30	20	4.2	有り
22	70	100	26	30	*	無し

表 II. 2.9 はり供試体の実験結果-1

b. 実験結果および考察

フックの効果に及ぼすかぶりの影響について、両引供試体およびはり供試体の試験結果を表 II. 2.9、表 II. 2.10 に示した。かぶりがかなり小さい場合にはフックが継手強度を高

供試体番号	かぶり (cm) φ	重ね合わせ長さ (cm)	フックの有無	継手強度 (kg/cm ²)	破壊形式
1	2.2 (1.4)	20	有り	2980	継手部コンクリートの割裂による破壊
2		20	無し	1870	
3		30	無し	3040	
4		63	無し	4230	鉄筋降伏
5		26.7	有り	4300	継手部コンクリートの割裂による破壊
6	3.2 (2.0)	40	無し	4300	
7		20	有り	3500	
8		30	無し	3500	
9		20	有り	3840	
10	4.2 (2.6)	30	無し	4100	鉄筋降伏
			有り		

める効果はあまり期待できないが、かぶりが大きくなるにつれてその効果が次第に発揮されるこ

とが、またフックの効果に及ぼす横方向鉄筋の影響は破壊状況からも、横方向鉄筋の量と共にその位置にも配慮し、特にフックの曲げ始めに配置したものの方が破壊荷重が大きくなり、有効である。(表 II.2.10)

表 II.2.10 はり供試体の実験結果-2

供試体番号	横方向鉄筋の配置状態 (cm)	破壊荷重 (t)	破壊形式	
			コンクリートの割裂による破壊	鉄筋降伏
11		6.2	コンクリートの割裂による破壊	
12		6.3		
13		7.9		
14		8.6		
15		7.8		
16		8.5		
17		8.0	鉄筋降伏	
18		8.8		
19		7.2		
20		8.3		
21		9.7		
22		7.5	コンクリートの割裂による破壊	
23		6.3	鉄筋降伏	
24		8.7		
25		9.2	鉄筋降伏	
26		8.0		

表 II.2.11 両引供試体の実験結果

供試体番号	かぶり (cm)	重ね合せ長さ (cm)	フックの有無	継手部(継手)の破壊強度 (kg/cm ²)		破壊形式
				試験値	平均	
1	22 (1.4φ)	20	有り	230	230	継手部の破壊
2				240		
3				220		
4				190		
5		20	無し	220	200	"
6				190		
7		30	無し	230	280	"
8				270		
9				280		
10				280		
11		68	無し	400	390	"
12				380		
13		26.7	有り	280	280	"
14				280		
15				380		
16		40	無し	300	380	"
17	32 (20φ)	20	有り	250	280	"
18				370		
19		30	無し	280	280	"
20	42 (26φ)	20	有り	380	380	継手部の破壊
21				380		
22	30	無し	300	300	継手部の破壊	

2.10 SD50の重ね継手に関する実験研究(その2-フックなしおよびフック付き継手)¹⁾

a. 実験概要

(1) 概要

SD50級の高強度鉄筋により、中筋を対象としたフックなしの重ね継手および出隅筋を対象としたフック付き継手について、継手強度、剛性、靱性を実験的に検討した。

(2) 実験

試験体の形状、寸法、配筋を図 II.2.30 に、試験体種別を表 II.2.12 に示した。主筋は D 16 (SD50)、継手部の補強を D 10 (SD30) とし、シリーズ I ではかぶり厚さを 92mm、シリーズ II では 38mm とした。コンクリート強度は 262kgf/cm² である。

表 II.2.12 試験体種別

		試験体名	重ね継手長さ
シリーズ I	フックなし	LP-N-2	
		LP-20C	20d*
		LP-30C	30d
		LP-40C	40d
		LP-50C	50d
シリーズ II	フック付き	LP-20F	20d
		LP-30F	30d
		LP-40F	40d
		LP-50F	40d

* d = 16mm

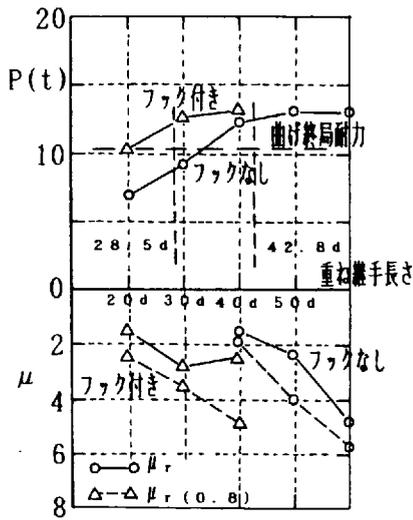


図 II . 2.31 各試験体の重ね長さ
と強度・靱性の関係

b. 実験結果および検討

表 II . 2.13 に各試験体の最大荷重一覧を、図 II . 2.31 には各試験体の重ね長さ
と塑性率の関係を、図 II . 2.32 には全試験体の包絡線を示した。重ね継手を持つ
試験体の塑性率は、継手なしのものよりも小さく、継手長さが長いほど塑性率は
大きくなる傾向がある。また重ね長さが同一ならば、フックなしよりフック付き
のほうが塑性率が大きいと言える。

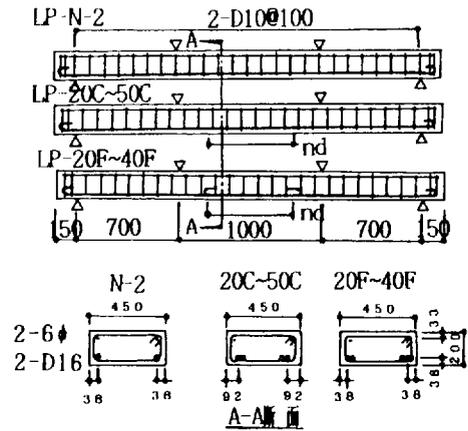


図 II . 2.30 試験体の形状・寸法

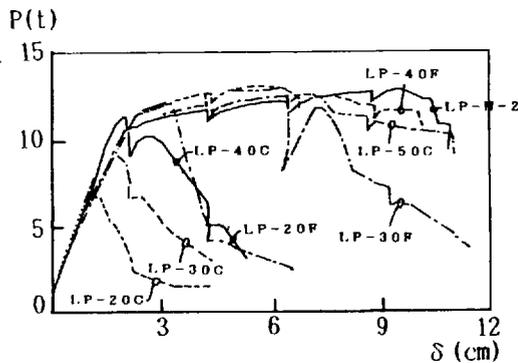


図 II . 2.32 各試験体の包絡線

表 II . 2.13 最大荷重・破壊形式

		試験体名	最大荷重 P_u (t)	LP-N-2を 1とした 比率	最大荷重 フック付き フックなし	破壊 形式
無		LP-N-2	13.0	1.00		BC
シリーズ1	フックなし	LP-20C	6.92	0.53	1	LL
		LP-30C	9.22	0.71	1	LL
		LP-40C	12.33	0.95	1	LLC
		LP-50C	13.1	1.01		LLC
シリーズ2	フック付き	LP-20F	10.4	0.80	1.51	LL
		LP-30F	12.7	0.98	1.38	LL
		LP-40F	13.1	1.01	1.07	LLC

BC : 曲げ降伏後コンクリート圧壊
L : 曲げ降伏以前に重ね継手破壊
LL : 曲げ降伏後重ね継手破壊

2.11 SD50の重ね継手に関する実験研究 (その1-あき重ね継手の実験) ¹⁸⁾

a. 実験概要

(1) 概要

SD50級の高強度鉄筋による重ね継手に関して、重ね継手の中でもあき重ね継手

の力学的性能について、RCはり部材の曲げ試験により実験的に検討した。

(2) 実験

試験体種別および試験体詳細を表 II.2.14 および図 II.2.33 に示した。

試験体種別および試験体詳細を表 II.2.14 および図 II.2.33 に示した。継手は密着継手とあき継手の2種、

試験体名	重ね継手長さ (cm)	あき寸法
LP-N	継手なし	
LP-0	64cm*	0
LP-2	"	2d
LP-4	"	4d
LP-6	"	6d
LP-8	"	8d

*64cm=40d(d:鉄筋径)

あき継手のあきは2d~8d(d:鉄筋径)とし、重ね継手長さは40dとした。主筋はD16、かぶりは3cmとして継手部分を2-9φ@100で補強した。コンクリート圧縮強度は、355kgf/cm²とした。

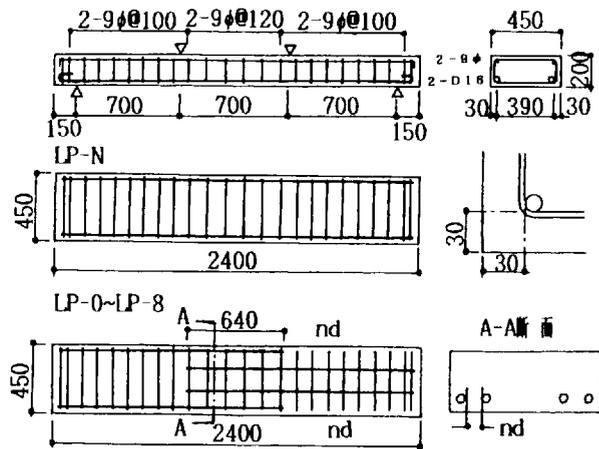


図 II.2.33 試験体形状・寸法・配筋

b. 実験結果および検討

各試験体の荷重中央たわみ包絡線を図 II.2.34 に、最大荷重と破壊形式を表 II.2.15 に示した。SD50級のあき重ね継手では6dのあきまで許容でき、全試験体とも曲げ降伏した。重ね継手試験体は、継手なしのものより最大荷重が低く生じた。また破壊状況からは重ね継手鉄筋相互のあき部分のコンクリートに45°方向の亀裂が生じ、あき重ね長さには有効重ね長さが存在するといえる。

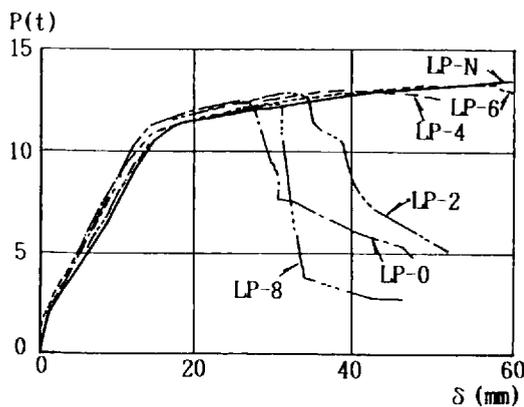


図 II.2.34 P-δ 曲線の包絡線

表 II.2.15 最大荷重および破壊形式

試験体 No	最大荷重 (t)	LP-N との比率	破壊形式
LP-N	13.8	1.00	曲げ破壊
LP-0	12.7	0.92	コーナー割裂
LP-2	12.9	0.93	外側鉄筋の付着破壊
LP-4	13.1	0.95	外側鉄筋の付着破壊
LP-6	13.5	0.98	外・内側鉄筋ほぼ同じ付着破壊
LP-8	12.3	0.89	内側鉄筋の付着破壊

2.12 SD50の重ね継手に関する実験研究(その3-中筋のあき重ね継手の実験)²⁰⁾

a. 実験概要

(1) 概要

重ね継手は密着継手を慣例としているが、施工上あきを設けて重ね継手する場合もあり、この場合のあき重ね継手に関する基準はACI codeの規定をそのまま準用している。この研究はあき重ね継手の力学的性状について、はり部材の純曲げ区間に設けたあき重ね継手について検討したものである。

(2) 実験

試験体種別および試験体詳細を表II.2.16および図II.2.35に示した。重ね継手長さは20d、30d、40d、継手のあきを4d、8dとした。鉄筋はD16、重ね継手部分の補強を2-D10@100(SD30)とした。コンクリート圧縮強度は244kgf/cm²とした。

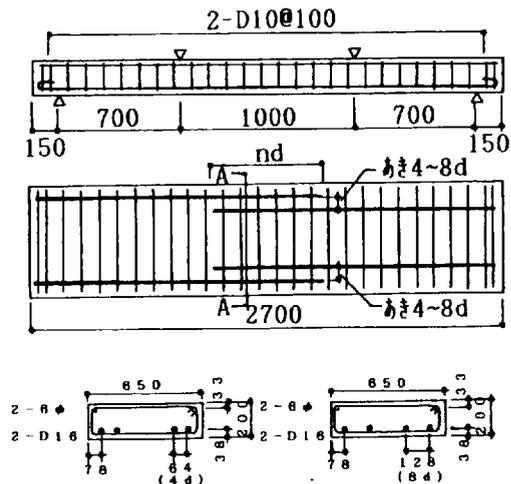
b. 実験結果および検討

各試験体の実験結果を表II.2.17、荷重-変形包絡線を図II.2.36に、あき寸法と最大荷重関係を図II.2.37に示した。重ね長さにかかわらず、あき寸法4dおよび8dのもの最大荷重はよく近似した。あき寸法のないものよりあき寸法のあるもの

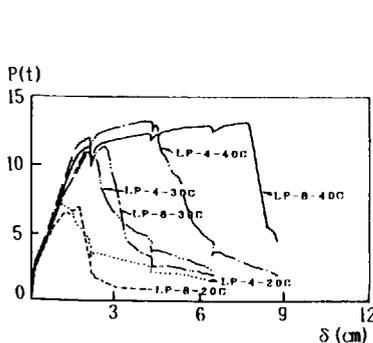
表II.2.16 試験体種別

試験体名	重ね継手長さ nd (cm)	あき寸法
LP-4-20C	20d(32cm)	4d(6.4cm)
LP-8-20C		8d(12.8cm)
LP-4-30C	30d(48cm)	4d
LP-8-30C		8d
LP-4-40C	40d(64cm)	4d
LP-8-40C		8d

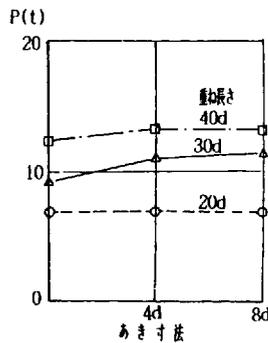
d: 鉄筋径(16mm)



図II.2.35 試験体の形状・寸法・配筋



図II.2.36 各試験体のP-δ曲線包絡線



図II.2.37 あき寸法と最大荷重の関係

表II.2.17 最大荷重・破壊形式

試験体名	最大荷重(t)	破壊形式
LP-4-20C	7.0	L
LP-8-20C	6.9	L
LP-4-30C	11.1	BL
LP-8-30C	11.5	BL
LP-4-40C	13.2	BL
LP-8-40C	13.2	BL

L: 曲げ降伏以前に継手破壊
BL: 曲げ降伏以後に継手破壊

の方が最大荷重が大きくなっていることが分かる。重ね長さが同一の場合、あき寸法が8dの方が4dのものより剛性が低くなっている。

2.13 小径異形鉄筋を使用した重ね継手における重ね長さとの継手割合のRC部

材の曲げ強度・剛性・靱性に及ぼす影響²¹⁾

a. 実験概要

(1) 概要

この研究はD6という小径異形鉄筋を使用したRC曲げ部材のミニモデルによって重ね継手における重ね長さとの継手割合を変数として、継手強度、剛性、靱性に及ぼす影響について実験的に検討した。

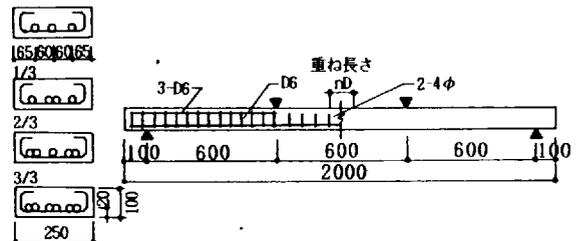
(2) 実験

試験体一覧を表II.2.18、試験体形状を図II.2.38に示した。実験変数は重ね長さを15d、20d、25dの3種、継手割合として主筋3本の全てに継手を設けたもの(集中度3/3)、2本に継手を設けたもの(集中度2/3)、1本に継手を設けたもの(集中度1/3)の3種とした。

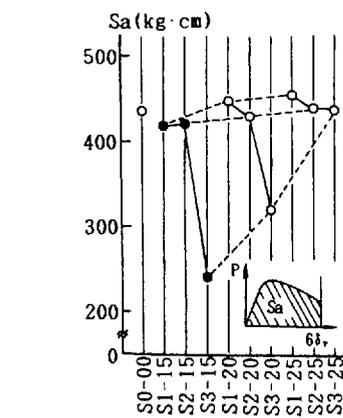
重ね長さ15d、20d試験体の継手部分にはコ形横方向筋(2-4φ)を端部に1本、内部に1本を、重ね長さ25d試験体は端部に1本、内部に2本配筋した。主筋は3-D6とし、コンクリート圧縮強度は216.7kgf/cm²とした。

表II.2.18 試験体種別・記号

試験体名	継手の有無	重ね長さ	集中度
S0-00	無		0/3
S1-15	有	15D (90cm)	1/3
S2-15			2/3
S3-15			3/3
S1-20		20D (120cm)	1/3
S2-20			2/3
S3-20			3/3
S1-25		25D (150cm)	1/3
S2-25			2/3
S3-25			3/3



図II.2.38 試験体形状



図II.2.39 エネルギー吸収能力

表II.2.19 実験結果

試験体名	重ね長さ	集中度	初亀裂荷重 (kg)	初亀裂発生 サイクル	降伏荷重 (kg)	降伏モーメント (ton)	最大荷重 (kg)	最大モーメント (ton)
S0-00	-	0/3	349.0	1	766.7	23.06	79.88	23.96
S1-15	15D (90cm)	1/3	451.2	2	727.1	21.81	76.30	22.89
S2-15		2/3	372.0	2	713.3	21.40	76.18	22.85
S3-15		3/3	338.5	1	* -	* -	76.07	22.82
S1-20	20D (120cm)	1/3	375.0	2	739.9	22.20	78.86	23.66
S2-20		2/3	373.5	2	734.5	22.04	78.06	23.42
S3-20		3/3	358.1	1	775.0	23.25	77.80	23.34
S1-25	25D (150cm)	1/3	419.2	2	756.5	22.70	82.52	24.76
S2-25		2/3	399.6	2	740.7	22.22	80.52	24.16
S3-25		3/3	387.2	2	741.2	22.24	78.50	23.55
計 算 値			389.4		757.6	22.73	76.03	22.81

初亀裂強度: $M_c = 1.8 \sqrt{f_c} Z$ (特許) 降伏強度: (e) 最大強度: $M_{max} = 0.9 \cdot I_{at} \cdot \sigma_y \cdot d$ (特許)
 ※終局まで降伏していない

b 実験結果および検討

表 II.2.19 に実験結果一覧、図 II.2.39 にエネルギー吸収能力を示した。重ね長さが短く継手集中度が大きいほど耐力が急激に低下し、重ね長さが長い場合には継手集中度にかかわらず耐力、靱性とも継手なしと同等あるいはそれ以上の結果が得られた。また図 II.2.40 より継手長さが長いほど、継手集中度が小さいほどエネルギー吸収能力が向上し、一概に継手を一断面に集中させてはならないと言いきれない。重ね長さの付着応力度は細径と言うこともあるが、重ね長さが長いものはRC規準に定められた継手の短期許容付着応力度をはるかに上回った結果となった。

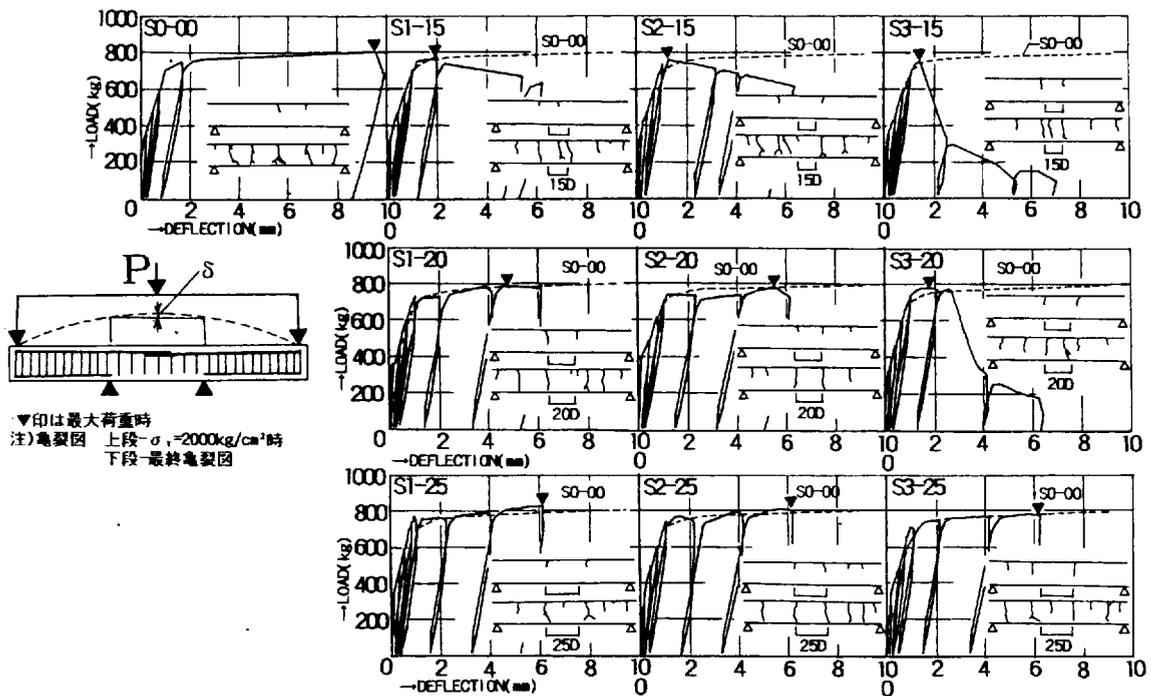


図 II.2.40 荷重相対たわみ曲線

2.14 異形鉄筋重ね継手の強度・剛性及び靱性に関する実験的研究²²⁾

a. 実験概要

(1) 概要

鉄筋コンクリートスラブの重ね継手を対象に、設計荷重時の剛性および終局時の耐力、靱性の確保のための所要長さを改めて検討し、合理的な長さやその詳細を再検討するものである。

(2) 実験

試験体種別を表 II.2.20、試験体形状寸法を図 II.2.41 に示した。試験鉄筋は 3-D 10(一部 3-D 13)とし、実験変数としては D 10 に対して、かぶりコンクリートの付着割裂に対する直交筋の効果を見るために、重ね長さを継手筋内側の場合、15 d、20d、25d、継手筋外側の場合、25d、30d とし、継手集中度は 1/3、2/3、3/3 の 3 種、D 10 継手筋内側の場合にはくさび圧入型機械式継手を、D 13 継手筋外側の場合には継手端にははねだし補強を施した。

b. 実験結果および検討

表 II.2.21 に実験結果の一覧を示した。曲げ降伏させるに十分な重ね長さ、継手集中度は D 10 シリーズの場合、重ね長さ 20 d、継手集中度 1/3(継手筋内側) および重ね長さ 25d、くさび圧入型機械式継手の継手集中度 2/3、3/3、D 13 シリーズの場合、重ね長さ 25d、継手集中度 3/3 であった。降伏点までの曲げ剛性は図 II.2.42 に示すように継手集中度が大きいほど、また重ね長さが長いほど継手なしより大きくなる傾向にある。また図 II.2.43 より、靱性およびエネルギー吸収能力は、継手集中度が小さく重ね長さが長いほど降伏後の靱性が大きく、最大荷重以後の耐力低下は緩慢になる。

表 II.2.20 試験体種別・記号

試験体名	鉄筋径	継手筋の位置	重ね長さ	継手集中度
NO.2	D10	内側	継手なし	0/3
0115 0215 0315			15d	1/3 2/3 3/3
0120 0220 0320			20d	1/3 2/3 3/3
0125 0225 0325			25d	1/3 2/3 3/3
0205 0305			継手なし	2/3 3/3
NO.S1, NO.S2	D10	外側	継手なし	0/3
S0125 S0225 S0325			25d	1/3 2/3 3/3
S0130 S0230 S0330			30d	1/3 2/3 3/3
NO.S3	D13	外側	継手なし	0/3
S3325			25d	3/3
S332R			25d はねだし	3/3

試験番号の表し方
S O 1 1 5

重ね長さ (15:15d, 20:20d, 25:25d, 30:30d, OS:くさび圧入型機械式継手)
継手集中度 (1:1/3, 2:2/3, 3:3/3)
主筋 (0:D10, 3:D13)

注) NO. 2 (無印:継手筋内側 S:継手筋外側)
NO. S1, NO. S2 (継手なし・主筋 D10・継手筋内側)
NO. S3 (継手なし・主筋 D13・継手筋外側)

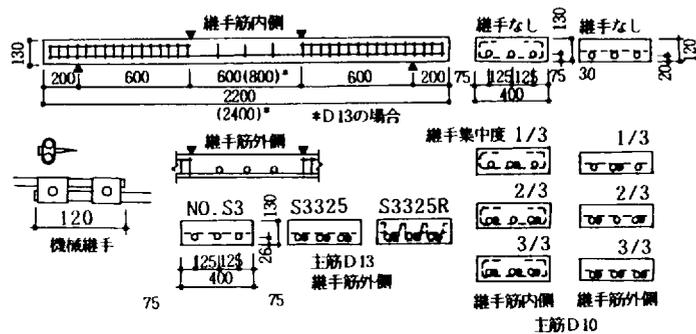


図 II.2.41 試験体形状・寸法

表 II.2.21 実験結果一覧

試験体名	重ね長さ (mm)	集中度	曲角降伏発生荷重 (kg)	付着の割れ発生荷重 (kg)	降伏荷重 (kg)	最大荷重 (kg)	破壊状況
NO.2	継手なし	0/3	80		230	280	Y.C
0115	15	1/3	90	190	190	190	B
0215		2/3	90	190	190	190	B
0315		3/3	80	150	※※	180	B
0120		1/3	80	210	207	210	Y.B
0220		2/3	90	190	190	190	B
0320	3/3	80	180	※※	180	B	
0125	25	1/3	80	230	230	230	Y.B
0225		2/3	90	220	200	220	Y.B
0325		3/3	90	220	200	220	Y
0325		2/3	90	※	210	230	Y
0325		3/3	90	※	210	240	Y
NO.S1	継手なし	0/3	90		200	212	Y.C
NO.S2	継手なし	0/3	90		200	220	Y.C
S0125	25	1/3	90	200	200	210	Y.C
S0225		2/3	90	200	200	208	Y.B
S0325		3/3	90	190	200	210	Y.B
S0130		1/3	90	210	210	220	Y.B
S0230		2/3	90	210	210	210	Y.B
S0330	3/3	90	210	210	210	Y.B	
NO.S3	継手なし	0/3	95		407	427	Y.C
S3325	32.5	3/3	1107	418	418	439	Y.B
S332R	32.5	3/3	840	428	428	454	Y.B

※ 降伏まで付着の割れは発生していない
※※ 主筋の端まで降伏していない

Y.C 鉄筋がコンクリートに引抜
Y 鉄筋降伏
B 継手破壊
Y.B 鉄筋が引抜かつ継手破壊

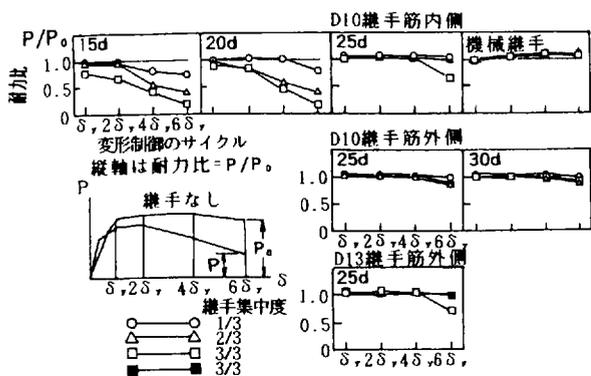


図 II . 2. 42 剛性比

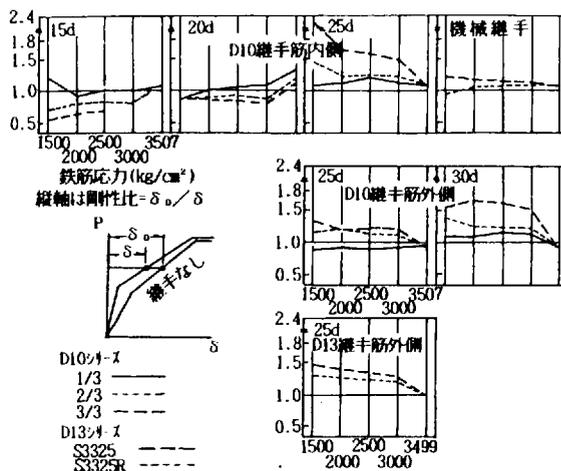


図 II . 2. 43 降伏以後の耐力比

2.15 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^{2,3)}

a. 実験概要

(1) 概要

本研究はRCはり部材を対象とし、高強度の鉄筋およびコンクリートを用いた場合の鉄筋重ね継手に関し、その継手性能に及ぼす種々の要因の影響を検討したものである。

(2) 実験

試験体詳細を図 II . 2. 44 に示した。実験変数は鉄筋強度 (SD50、SD60、SD70)、コンクリート強度 (216 ~ 772kgf/cm²)、重ね長さ (20d、30d、40d、50d)、あばら筋比 (0.2%、0.4%) である。主筋は D 19、かぶり厚さは 1.5d とした。

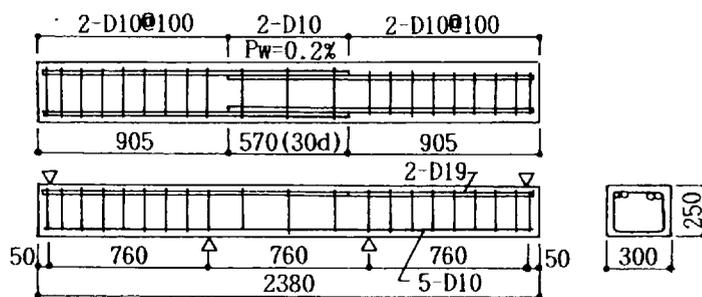


図 II . 2. 44 試験体配筋図

b. 実験結果および検討

表 II . 2. 22 には実験結果一覧を示した。図 II . 2. 45 からコンクリート強度にかかわらずほぼ重ね長さに比例して終局曲げモーメントが増大していることが、また図 II . 2. 46 から重ね長さにかかわらず、コンクリート強度が小さい場合にはコンクリート強度の増大にともない終局モーメントが急激に増大するが、コンクリ

ート強度が大きい場合には増大率が小さくなる傾向を示した。図 II.2.47 はあばら筋比の増大にともないほぼ比例的に終局曲げモーメントが増加していることを示している。またあばら筋径の違いによる差異は特に見られなかった。

表 II.2.22 試験体パラメータと実験結果一覧

試験体 記号	パラメータ				実験結果** 曲げモーメント(tm)				破** 壊形式
	σ_y kg/cm ²	f_c kg/cm ²	ρ_s 径	P_w %	M_c	M_f	M_y	M_u	
FB-01	724	628	20d	0.2	1.49	4.49		6.52	SF
FB-02	724	628	30d	0.2	1.33	3.01	7.63	7.83	SF
FB-03	724	628	40d	0.2	1.27	3.01	6.84	7.57	CF
FB-04	724	228	30d	0.2	0.76	4.17		4.74	SF
FB-05	724	228	40d	0.2	1.15	3.01		6.07	SF
FB-06	724	228	50d	0.2	1.14	4.51	7.99	7.99	SF
FB-07	724	628	無し	0.2	1.31	2.64	7.37	8.30	CF
FB-08	724	228	無し	0.2	0.95	2.28	7.58	8.24	CF
FB-09	7398	621	30d	0	1.94	2.64		6.07	SF
FB-10	7398	621	30d	0.2	1.48	3.01	7.99	7.99	SF
FB-11	7398	621	30d	0.4	1.37	2.99	7.98	8.25	SF
FB-12	7398	216	30d	0	0.94	2.65		3.94	SF
FB-13	7398	216	30d	0.2	0.99	2.46		4.65	SF
FB-14	7398	216	30d	0.4	0.95	3.24		5.23	SF
FB-15	7398	772	30d	0.2	1.32	3.00	8.05	8.46	SF
FB-16	6690	621	30d	0.2	1.89	2.65	7.14	7.14	SF
FB-17	5413	621	30d	0.2	1.48	3.22	6.12	6.56	CF, SF
FB-19	7398	287	30d	0.2	1.13	3.23		6.53	SF
FB-20	5413	287	30d	0.2	1.33	3.80		6.00	SF
FB-21	5413	287	20d	0.2	1.48	3.38		4.48	SF
FB-22	5413	287	40d	0.2	0.95	3.81	6.16	6.35	SF
FB-24	4141	216	30d	0.2	1.07	3.23		4.18	SF
FB-25	4141	216	20d	0.2		2.77		3.31	SF
FB-31	5413	621	20d	0.2	1.35	3.55		5.69	SF
FB-32	5413	621	40d	0.2	1.49	3.00	5.77	6.55	CF, SF

注1: ()はD6鉄筋使用、他はD10鉄筋使用
 注2: M_c : 曲げひびき発生時モーメント
 M_f : 付着剥離ひびき発生時モーメント
 M_y : 引張鉄筋降伏時モーメント
 M_u : 終局高曲げ時モーメント
 注3: 破壊形式: CF: コンクリート圧壊 SF: 付着剥離破壊

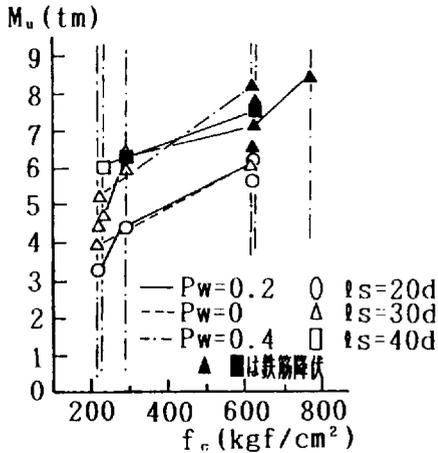


図 II.2.45 コンクリート強度と終局モーメント

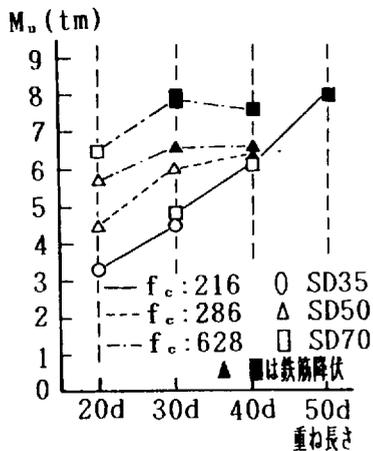


図 II.2.46 重ね長さ と終局モーメント

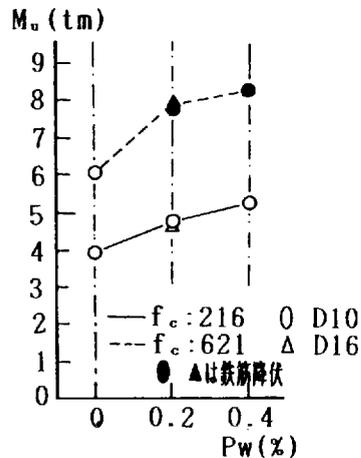


図 II.2.47 あばら筋比と終局モーメント

2.16 重ね継手を持つはり部材の曲げせん断実験^{4,2)}

a. 実験概要

(1) 概要

この研究は、従来の重ね継手に関する研究が純曲げに対するものが主であった

が、時代の要請から重ね継手を危険断面並びに危険断面付近の応力の大きい箇所に重ね継手を設けた場合の基礎的資料を得るために、曲げせん断実験によって、それら部材の耐震性能について検討を行ったものである。

(2) 実験

試験体は表 II.2.23 および図 II.2.48 に示す。実験変数は重ね長さを $30d \sim 60d$ とし、重ね継手位置を危険断面位置および危険断面から $D \sim 3D$ (D : はり全丈) 離して設けた。コンクリート強度は 254 kgf/cm^2 、主筋は SD35 の 3-D 10 とした。

表 II.2.23 試験体種別

試験体 No.	重ね継手長さ $l = n d$	継手位置 (cm)	B×D (cm)	主筋 Pt(%)	あばら筋 Pw(%)	Fc (kg/cm ²)
LP-N	継手なし	-	15×15 φ12.5cm	3-D10 1.14%	6φ100 (0.43%)	254
LP30-F-0	30d	0				
LP40-F-0	40d	0				
LP50-F-0	50d	0				
LP60-F-0	60d	0				
LP30-F-D	30d	30(D)				
LP30-F-2D	30d	60(2D)				
LP30-F-3D	30d					

表 II.2.24 各試験体の最大荷重

試験体 No.	最大荷重 Pu(t)	実計 ¹
LP-N	2.01	1.01
LP30-F-0	2.07	1.04
LP40-F-0	2.01	1.01
LP50-F-0	2.12	1.06
LP60-F-0	2.13	1.07
LP30-F-D	2.05	1.03
LP30-F-2D	2.05	1.03
LP30-F-3D	2.06	1.03

$Nu = 0.9 \cdot \alpha_t \cdot \sigma_y \cdot d \dots\dots(1)$

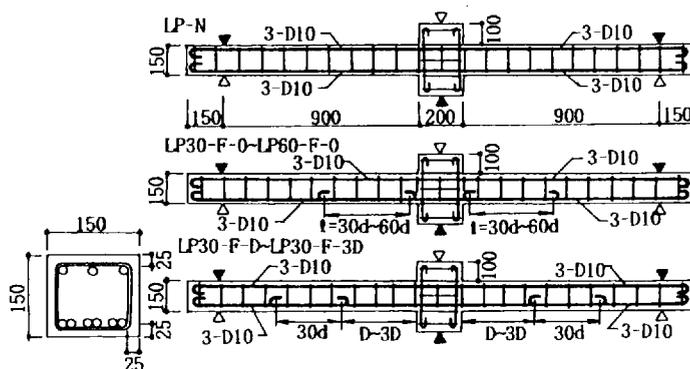


図 II.2.48 試験体形状：寸法・配筋

b. 実験結果および検討

各試験体の荷重変形包絡線を図 II.2.49 に、実験結果を表 II.2.24 に、また各試験体の部材角を図 II.2.50 に示した。全試験体とも引張鉄筋降伏後、コンクリートの圧壊、主筋の座屈により破壊した。危険断面で重ね継手した試験体が全体的に継手なしのものよりも変位の大きい範囲で安定したループ性状を示した。危険断面から $2D$ 、 $3D$ 離れたものは継手なしのそれと比較的よく近似した。危険断面で重ね継手したものでも最大荷重時および $0.8 \times$ 最大荷重時部材角は継手なしのそれとよく近似した。これらのことから耐震性能的に重ね継手を危険断面でも利用可能と言える。

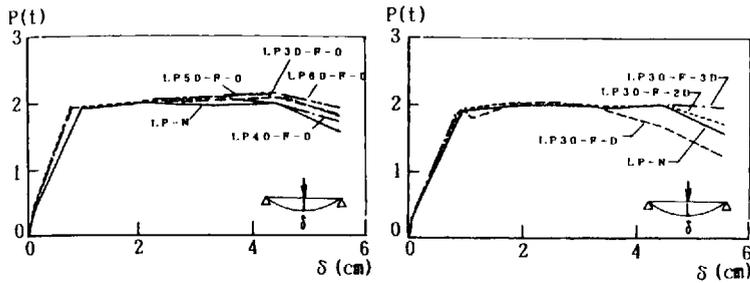


図 II . 2. 49 各試験体の包絡線の比較

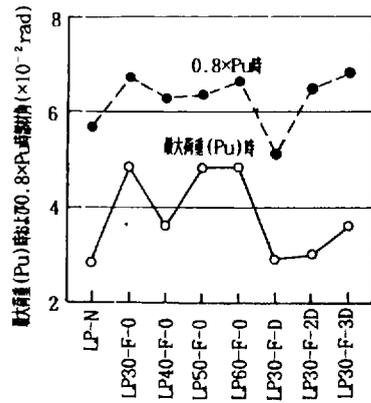


図 II . 2. 50 最大荷重時および (0.8×最大荷重) 時部材角

2.17 重ね継手の継手位置が梁部材の力学的性能に及ぼす影響に関する実験

研究⁴³⁾

a. 実験概要

(1) 概要

重ね継手を設ける位置に関して、現行の規準では単に応力の小さいところに設けるとあり、応力レベルについて触れていない。この研究は、重ね継手がどの程度の部材応力あるいは鉄筋応力の大きさの範囲まで利用可能なのかを実験的に検討したものである。

(2) 実験

試験体は図 II . 2. 51 に示すように、表 II . 2 . 25 の試験体種別にしたがって、危険断面位置、危険断面応力の 0.78 倍の位置、危険断面

表 II . 2. 25 試験体種別 及び実験結果

継手位置	No	試験体 No.	重ね継手長さ	荷重	最大荷重 Pu(t)	破壊形式
継手なし	1	LP-N-4	-	正	2.95	FG
	2	LP-1-50	50d	正	2.85	FC
	3	LP-1-40	40d	正	2.96	FL
危険断面位置	4	LP-1-40	40d	正	2.71	FL
	5	LP-1-30	30d	正	2.50	L
	6	LP-1-20	20d	正	2.66	FL
	7	LP-1-10	10d	正	1.99	L
	8	LP-1-20	20d	正	2.21	L
	9	LP-1-10	10d	正	1.36	L
0.78位置	10	LP-0.78-30	30d	正	1.32	L
	11	LP-0.78-20	20d	正	0.60	L
	12	LP-0.78-10	10d	正	0.59	L
0.56位置	13	LP-0.78-30	30d	正	2.40	L
	14	LP-0.78-20	20d	正	2.70	FL
	15	LP-0.56-30	30d	正	1.66	L
	16	LP-0.56-20	20d	正	1.63	L
0.56位置	17	LP-0.56-10	10d	正	1.00	L
	18	LP-0.56-30	30d	正	0.74	L
	19	LP-0.56-20	20d	正	3.02	FL
	20	LP-0.56-10	10d	正	2.32	FL
0.56位置	21	LP-0.56-30	30d	正	2.48	L
	22	LP-0.56-10	10d	正	2.69	FL
0.56位置	23	LP-0.56-20	20d	正	1.34	L
	24	LP-0.56-30	30d	正	1.18	L

※ 正荷重：上端筋引張、負荷重：下端筋引張
 ※※ L：曲げ降伏以前に継手破壊、FC：曲げ降伏後にコンクリート圧壊
 FL：曲げ降伏後に継手破壊

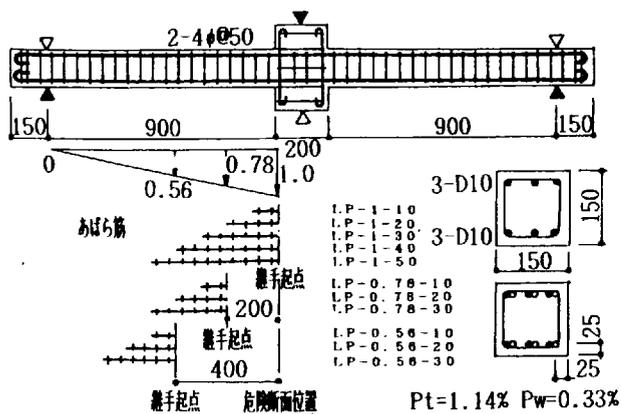
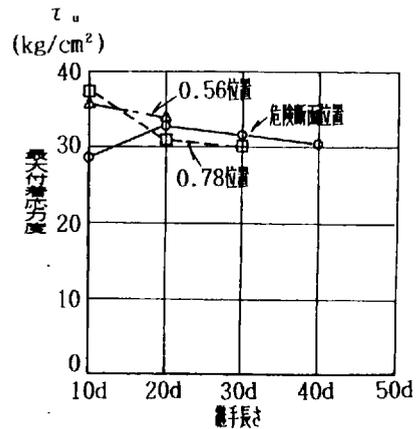


図 II . 2. 51 試験体形状・配筋

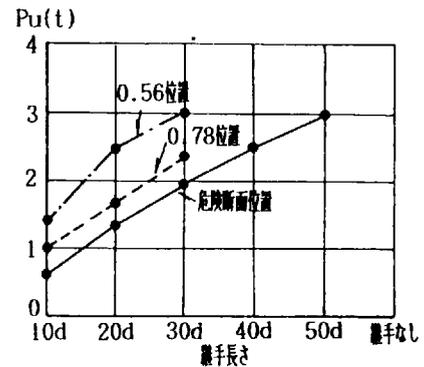
応力の0.56倍の位置のそれぞれに重ね継手を設けた。重ね長さは10d、20d、30d、40d、50dの5種である。主筋はSD50のD10、コンクリート強度は183kgf/cm²とした。

b. 実験結果および検討

実験結果を表II.2.25に、平均付着応力度を図II.2.52に、また継手長ささと最大荷重の関係を図II.2.53に示した。これらから継手位置に応じて重ね継手長さを変えることにより最大荷重をコントロールでき、危険断面位置のように応力の大きいところであっても、重ね継手長さが適切であれば十分耐震性能を得られる。また継手長さが同一の場合、重ね継手の最大平均付着応力度の大きさは、継手位置にさほど影響されない。むしろ同一継手位置で重ね継手した場合の継手最大平均付着応力度は、継手長さが大きいほど小さくなる傾向にある。



図II.2.52 継手の最大平均付着応力度



図II.2.53 各継手位置における継手長ささと最大荷重の関係

2.18 梁端部におけるフック付き重ね継手の実験的研究^{4,5)}

a. 実験概要

(1) 概要

この研究は、はり危険断面に設けたフック付き太径鉄筋の重ね継手の実用化のための基礎資料を得るために行われた。

(2) 実験

試験体は表II.2.26および図II.2.54に示す単純はり形式の試験体である。実験変数は横補強筋量、主筋径、継手形式および重ね継手端部のフック(180°、90°)とする。また有効継手長さは折り曲げ起点距離とし、20dを標準とした。

表II.2.26 試験体種別

試験体	重ね継手		横補強筋(%)	梁主筋	備考
	有効長	フック			
LS-10	-	-	0.6	8-D19	継手なし
LS-11	20d	両端	0.6	8-D19	標準試験体
LS-12	20d	両端	0.3	8-D19	横補強筋が半分
LS-13	20d	両端	0.9	8-D19	横補強筋が1.5倍
LS-14	23d	片側	0.6	8-D19	スタブ側フック無
LS-15	15d	両端	0.6	8-D19	継手を5dずらす
LS-16	20d	両端	0.6	6-D22	更に太径鉄筋
LS-17	20d	両端	0.6	12-D16	2段配筋

(dは主筋径)

b. 実験結果

図 II.2.55 にせん断力・部材角関係包絡線を示す。フック付きの場合、重ね継手長さが20d あれば安定した履歴性状を示し、横補強筋の効果は、0.6%と0.3%の間には顕著な差がみられるが、0.6%と0.9%では180°フック付きのみ差が見られる。また90°フック付き試験体は180°フック付きより最大耐力がやや大きく、耐力低下の少ない靱性に富んだ履歴性状を示した。これは図 II.2.56、図 II.2.57 のコンクリートコア部の破壊状況から支圧力の分散およびはり端部の圧縮側コンクリートとの釣合が上げられる。

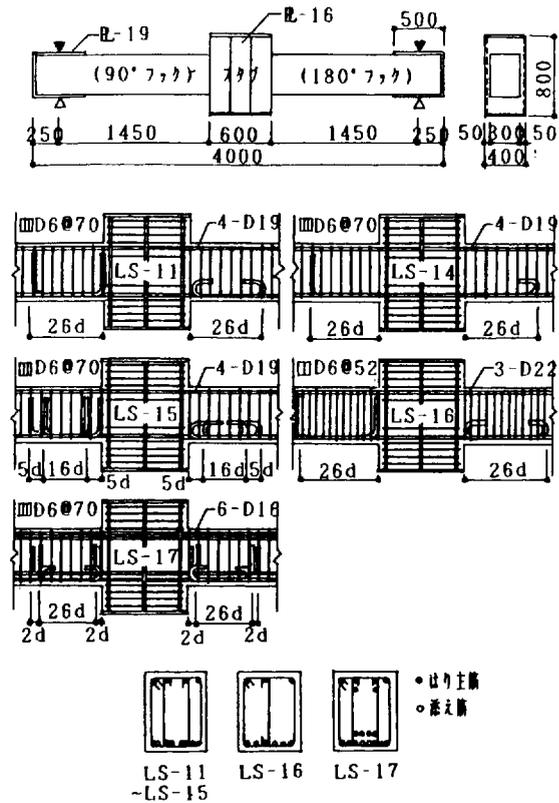


図 II.2.54 試験体形状および重ね継手の形状

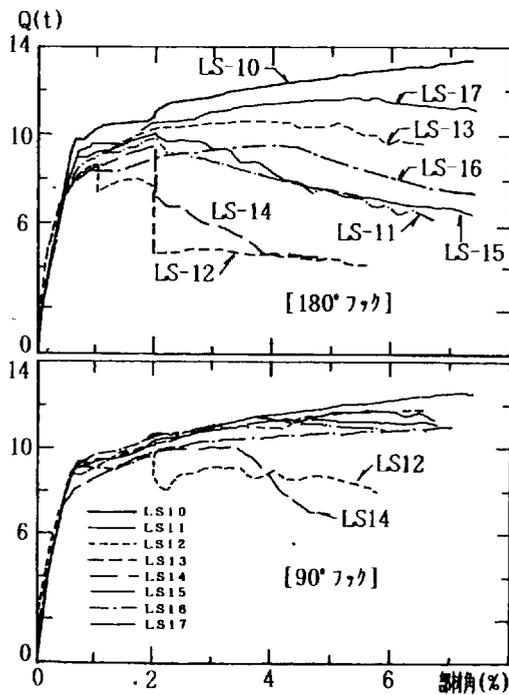


図 II.2.55 せん断力-部材角関係の包絡線

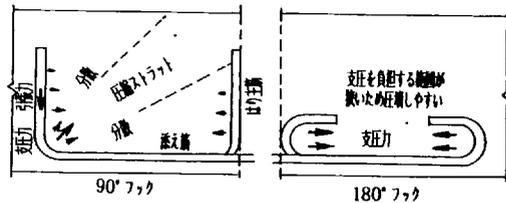


図 II.2.56 フックの応力伝達

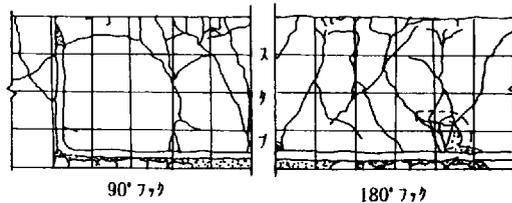


図 II.2.57 コア部分の破壊状況

2.19 鉄筋コンクリート梁の端部における重ね継手に関する実験研究⁴⁵⁾

a. 実験概要

(1) 概要

この研究は、はり端に種々の形状の重ね継手を設けた場合の耐震性能について実験的に検討した。

(2) 実験

試験体は表 II.2.27 および試験体詳細図を図 II.2.58 に示した。実験変数は図 II.2.58 に示す継手形状および重ね継手長さである。主筋はSD35のD16とし、コンクリート圧縮強度は219kgf/cm²とする。

表 II.2.27 試験体一覧

試験体形状	試験体名	継手の形状	継手長さ
	LS-1	—	—
	LS-2	フック無し	40d
	LS-3		30d
	LS-4		20d
	LS-5		10d
	LS-6	90° フック	20d
	LS-7		10d
	LS-8	180°	20d
	LS-9	フック	10d

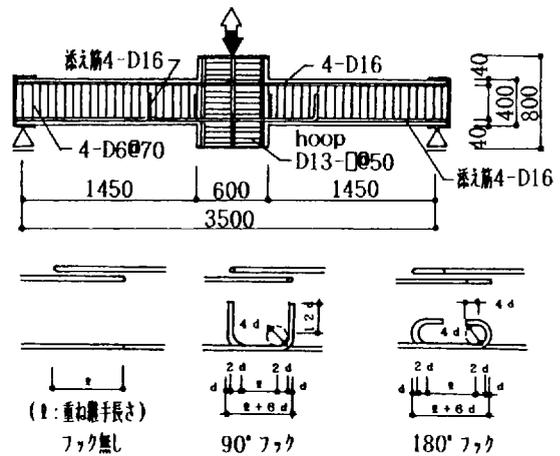


図 II.2.58 試験体配筋図及び重ね継手の形状

b. 実験結果および考察

せん断力・部材角関係包絡線を図 II.2.59 に示した。フックのない継手試験体は、重ね長さの影響が顕著に見られ、これに対してフック付き継手試験体は、フックなしに比べて優れた変形性能を示した。図 II.2.60 には各区間での付着応力度分布を示した。これによるとはり端に近づくほど小さくなる傾向があり、はり端より10d の範囲において約20~30kgf/cm² となる。これははり端付近では、ひび割れの発生および曲げに伴う圧縮応力などによる添え筋周囲のコンクリートの損傷が大きいためと考えられ、更に平均付着応力度をOrangun らの重ね継手付着強度式による計算値と比較すると破壊が局部に集中しやすいような条件の場合はそれらの実験に比べて付着強度が下がる傾向がある。

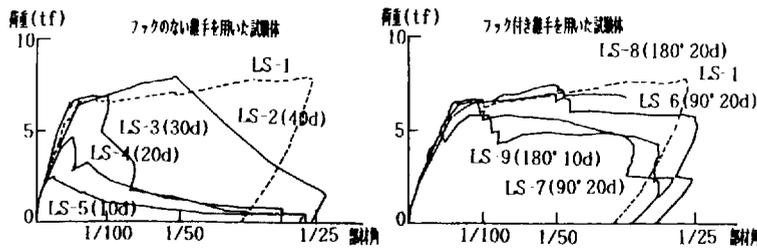


図 II . 2. 59 荷重一部材角包絡線と最終破壊状態

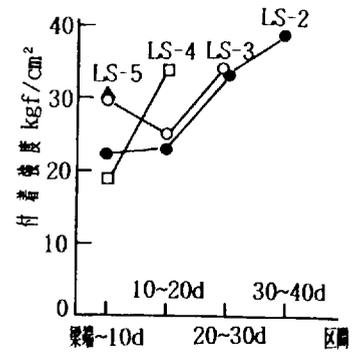


図 II . 2. 60 フックのない試験体における区間付着強度分布

2. 20 重ね継手を有する高強度鉄筋コンクリート柱部材の構造特性に関する

研究^{4, 8)}

a. 実験概要

(1) 概要

現行の規準ではSD40鉄筋までしか必要重ね長さが規定されておらず、それ以上の高強度鉄筋を使用する場合には、その重ね継手について実験的に検討を要するとなっており、本研究は柱における重ね継手を対象に、重ね継手を有する高強度鉄筋コンクリート柱部材の構造特性に関して、表 II . 2. 28 試験体パラメーター一覧曲げせん断実験により検討したものである。

(2) 実験

試験体は表 II . 2. 28 および図 II . 2. 61 のごとく、基礎スタブと加力スタブからなる柱部

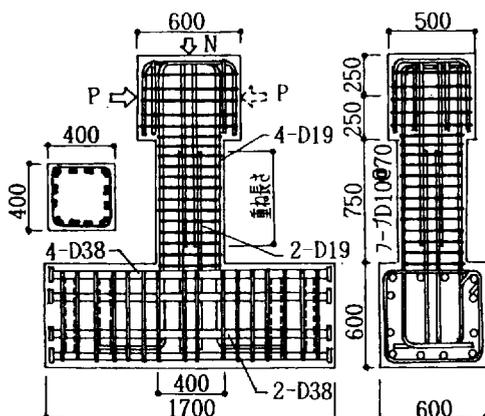


図 II . 2. 61 試験体配筋図

試験体記号	軸力 N/Fc	重ね長さ	横筋		加力方法
			仕様	Pw %	
Nb-07	0.3bd	10d	□D10@70	0.51	A法
Nb-08	0.3bd	30d	□D10@70	0.51	A法
Nb-09	0.3bd	無し	□D10@70	0.51	A法
Nb-10	0	20d	□D10@70	0.51	A法
Nb-11	0.3bd	20d	□D10@70	0.51	A法
Nb-12	0.6bd	20d	□D10@70	0.51	A法
Nb-13	0.3bd	10d	□D10@70	0.51	B法
Nb-14	0.3bd	20d	□D10@70	0.51	B法
Nb-15	0.3bd	30d	□D10@70	0.51	B法
Nb-16	0.3bd	20d	□D6@70	0.20	A法
Nb-17	0.3bd	20d	□D10@170	0.21	A法
Nb-18	0.3bd	20d	□D10@170	0.42	A法

*鉄筋強度

- D19: $\sigma_y=7863$, $\sigma_b=8328\text{kg/cm}^2$

- D10: $\sigma_y=4458$, $\sigma_b=5681\text{kg/cm}^2$

- D6: $\sigma_y=4210$, $\sigma_b=5250\text{kg/cm}^2$

*加力方法

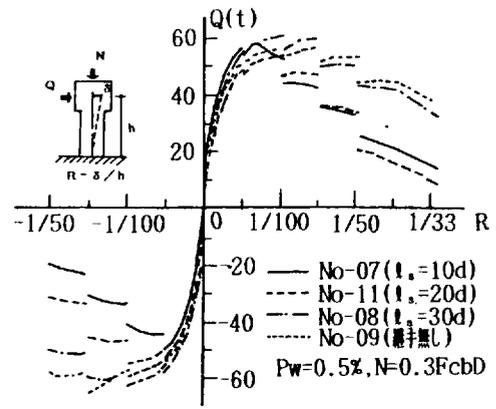
- A法: 所定変形で2回繰り返し

- B法: 所定変形で10回繰り返し

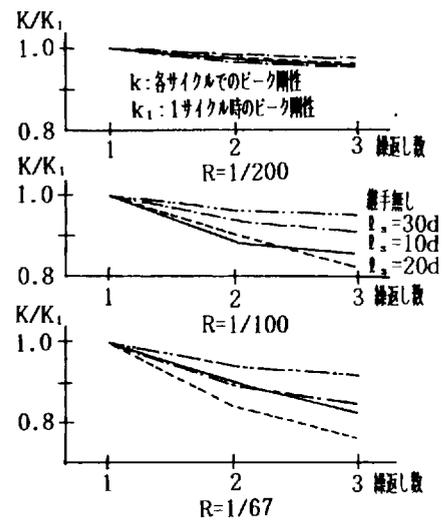
材であり、実験変数は軸力、重ね長さ、横筋加力方法である。主筋はSD70級のD19、かぶり厚さを $1.5d$ 、コンクリート強度は、 $600\text{kgf}/\text{cm}^2$ である。

b. 実験結果および検討

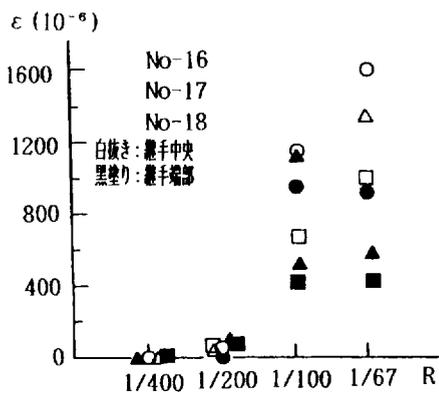
表II.2.29に実験結果一覧を、図II.2.62に荷重・変形関係包絡線を示した。継手試験体はいずれも鉄筋降伏以前の付着割裂破壊となり、最大荷重以降の耐力低下は重ね長さの短い試験体ほど急激で、繰り返しによる剛性低下は図II.2.63より $R=1/200$ では殆どないが、 $R=1/100$ 以上では重ね長さの短い試験体ほど大きい。また図II.2.64の横筋の歪より横筋量が大きいほど、間隔が小さいほど、継手破壊時の荷重低下がゆるやかとなる。更に軸力の影響は図II.2.65のように高軸力の試験体の方が早く荷重低下も急激であり、 $R=1/67$ で軸力保持不能となる。



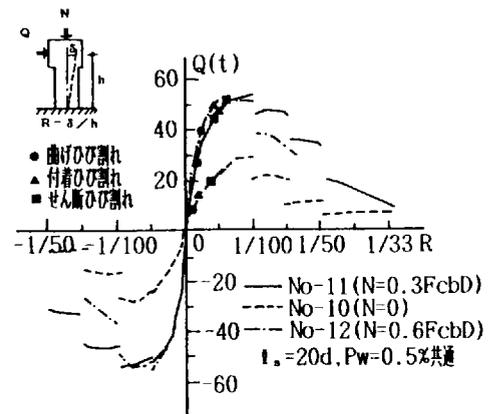
図II.2.62 荷重-変形関係包絡線比較



図II.2.63 繰り返し加力による剛性比変化



図II.2.64 横筋ひずみの比較



図II.2.65 荷重-変形関係包絡線比較

表 II. 2. 29 実験結果一覧

試験体記号	σ_b σ_c	曲げひび割れ		せん断ひび割れ		付着ひび割れ		圧 壊		鉄筋降伏		最大荷重		
		Q	R	Q	R	Q	R	Q	R	Q	R	Q	R	
No-07	+	608	41.9	2.21	51.9	3.50	45.3	10.1	57.6	7.15	-	-	58.0	6.61
	-	45.0	32.9	1.67	50.3	5.01	49.0	5.03	44.0	7.63	-	-	50.3	5.01
No-08	+	558	34.0	1.65	55.5	5.02	51.4	4.01	60.1	8.55	54.3	10.03	60.3	10.03
	-	41.1	36.0	1.23	56.3	4.27	58.0	5.01	60.5	7.03	53.6	8.29	62.7	9.52
No-09	+	569	32.0	1.70	48.7	4.26	50.4	5.01	55.2	7.04	55.3	12.51	60.0	10.02
	-	44.8	35.9	1.78	53.3	4.29	53.5	5.01	55.7	5.33	57.5	10.04	61.0	15.02
No-10	+	533	8.1	0.64	19.4	3.52	14.8	2.11	20.9	10.5	-	-	29.1	9.53
	-	33.3	8.0	0.75	20.1	3.51	12.1	1.49	-	-	-	-	28.4	7.02
No-11	+	498	27.9	1.66	45.8	4.27	46.3	4.52	51.7	7.06	45.3	9.97	53.8	10.09
	-	36.4	29.8	0.95	50.9	4.31	44.9	2.75	51.3	5.02	46.7	10.59	54.8	10.08
No-12	+	498	39.7	2.52	51.5	7.54	50.2	4.26	51.5	5.15	51.0	8.05	52.0	6.21
	-	32.8	42.3	2.51	54.2	7.03	50.0	3.52	53.2	4.28	-	-	55.3	5.03
No-13	+	602	33.0	1.90	50.5	5.01	48.8	4.27	47.7	4.99	-	-	50.5	5.01
	-	36.2	32.9	1.72	47.3	4.26	45.0	3.52	-	-	-	-	49.7	5.02
No-14	+	616	30.0	1.40	44.3	2.77	48.6	3.53	52.0	5.02	58.6	10.07	58.6	10.07
	-	37.4	26.9	1.21	35.9	1.96	47.4	3.54	51.5	5.01	54.8	9.56	55.7	8.55
No-15	+	616	32.9	1.82	51.0	4.26	53.8	5.01	60.1	7.04	58.9	12.03	63.3	10.03
	-	37.4	24.0	0.78	41.1	2.52	47.1	3.52	55.7	7.04	51.5	11.03	58.4	10.04
No-16	+	533	32.8	1.51	51.6	4.26	51.6	4.26	53.9	5.02	-	-	55.7	10.05
	-	36.3	32.9	1.86	47.3	4.28	44.8	3.51	48.7	5.01	-	-	50.2	5.03
No-17	+	567	30.0	1.58	46.7	3.51	46.7	3.51	51.3	5.05	-	-	51.8	8.03
	-		33.0	1.59	49.5	4.26	43.5	2.77	50.6	5.04	-	-	50.7	4.88
No-18	+	551	32.9	1.68	49.2	3.52	54.4	5.04	54.4	5.04	-	-	56.1	9.59
	-	36.1	32.9	1.43	50.2	4.28	41.9	2.52	51.1	7.05	-	-	52.7	9.54

2.21 鉄筋コンクリートにおける重ね継手に対するせん断の影響⁷⁹⁾

a. 実験概要

(1) 概 要

本研究は、継手が曲げモーメント勾配と高せん断力を受ける領域に設けられた場合において、重ね継手に対するせん断の影響を評価することである。

(2) 実 験

供試体は、図 II. 2. 66 に示すように、付着破壊が鉄筋の降伏応力に達する前あるいはせん断によって断面が破壊する前に生じるように設計された両端部を片持ばりとした単純支持ばり形式である。実験変数はせん断スパン、縦補強筋の種類・形状、配筋位置（上端、下端）、コンクリート強度、鉄筋サイズ、継手位置である。

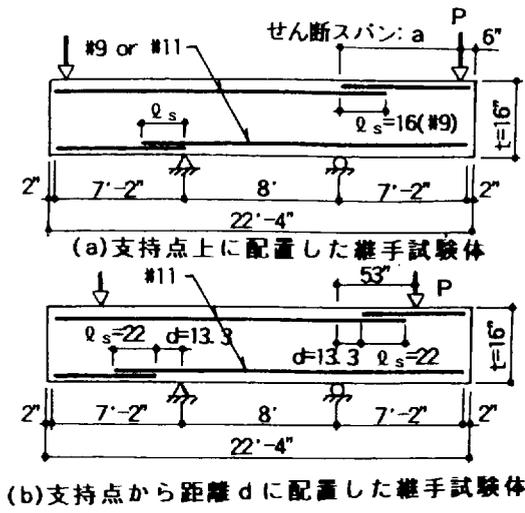


図 II.2.66 試験体形状

b. 実験結果および考察

結果の一部を表 II.2.30、表 II.2.31 に示すように、せん断力を大きくしても重ね継手に対する付着応力度には変化が見られない。また縦補強筋量はせん断力に対しては影響するが、付着応力度の増分にはさほど貢献しない。また図 II.2.68 から重ね継手の位置に関しては、上端継手は下端継手に対して、付着強度の減少を示し、コンクリート強度が大きくなると下端継手の付着強度が増加する。また継手位置は最大モ

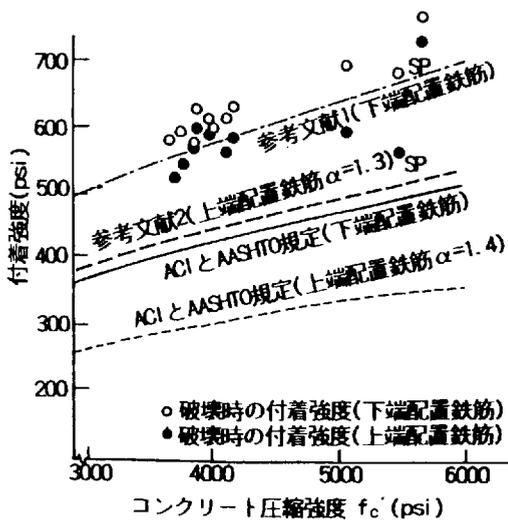


図 II.2.68 コンクリート強度に対する付着強度

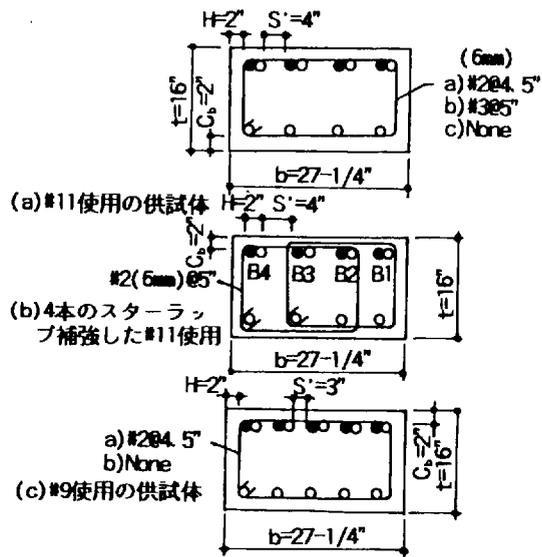


図 II.2.67 供試体断面

表 II.2.30 継手強度に対するせん断の影響

試験体 No	せん断 スパン (in)	$\frac{U_f}{\sqrt{f_c}}$	変化 比率 (%)	$\frac{V}{d\sqrt{f_c}}$	増加 比率 (%)
3	53	8.83	-5	2.29	22
1	40	8.37		2.80	
4	53	9.33	+1	2.39	30
2	40	9.41		3.10	
10	80	9.15	-3	1.53	48
6	53	8.84		2.27	
9	80	9.82	-2	1.63	50
5	53	9.62		2.44	

表 II.2.31 継ぎ手強度に対するせん断補強筋量の影響

試験体 No	β (%)	実験値		計算値	
		$\frac{U_f}{\sqrt{f_c}}$	比率 (%)	$\frac{U_{cal}}{\sqrt{f_c}}$	比率 (%)
7	0	8.98	+2	6.66	+5
10	0.072	9.15	0.33	6.99	
8	0	9.01	+9	8.66	+5
9	0.072	9.82	0.43	9.09	
6	0.072	8.84	0	6.99	+6
3	0.161	8.83	0.33	7.38	
5	0.072	9.62	-3	9.09	+6
4	0.161	9.33	0.94	9.60	
21	0	9.32	-5	6.70	+4
24	0.072	8.81	0.32	7.02	
22	0	10.23	+24	8.71	+3
23	0.072	12.67	0.41	9.12	
平均			+4.5	平均	+5

ーメントの断面が距離dの継手位置を変えることで継手耐力の改善は認められない。

2.22 プレキャスト部材の接合目地部における鉄筋の重ね継手に関する研究⁵⁶⁾

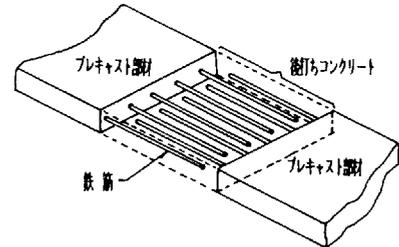
a. 実験概要

(1) 概要

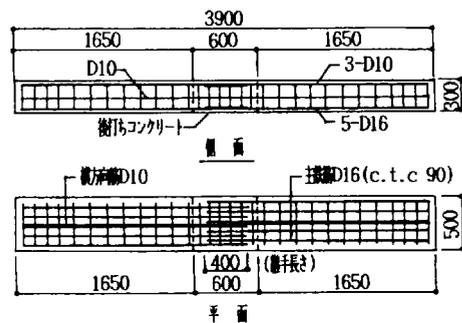
本研究はプレキャスト部材の接合に関して、後打ちコンクリート部の鉄筋継手として複数本の鉄筋をある間隔離した重ね継手についての性状を実験的に検討したものである。

(2) 実験

試験は図II.2.69、図II.2.70および表II.2.32に示すように、重ね継手、定着継手を一断面に集中させたRCはり試験体とし、実験変数はコンクリート強度、継手長さ、鉄筋径、鉄筋間隔、補強筋の配置とした。主筋はSD30級のD16、コンクリート強度は重ね継手のある後打ちコンクリート部で242~404kgf/cm²である。



図II.2.69 定着継手の構造



図II.2.70 試験体配筋

表II.2.32 試験体と実験結果一覧

b. 実験結果および検討

各試験体の試験結果を表II.2.32に、定着継手を有する試験体のひび割れは、継手部では断面の剛性が大きいため、その成長がわずかで最大ひび割れ幅で0.04~0.06mm程度であった。継手部コン

シリーズ	名称	継手構造	継手長さ	打継目地有無	継手部コンクリートのσc	継手部	打継目地部	その他	ひび割れ幅 (σ _c =1800kg/cm ² 時)		高応力繰返し耐力性能		破壊耐力		最終変形 (N.I)	破壊状況
									δ ₁ /δ _{0.2}	δ _{0.2} (μm)	相対比較	鉄筋応力 (t-m)	試験値計算値	強度		
I 1	NCRW-N-240	—	—	×	242	—	—	0.14	89	100	12.91	1.38	13	圧壊		
II 2	NCRW-J-240	—	—	○	248	—	0.18	0.14	88	99	13.21	1.41	13	—		
I 3	L 40-N-240	重ね継手	40	×	242	0.07	—	0.13	88	99	11.35	1.11	4	付着切れ		
I 4	L 40-J-240	—	40	○	242	0.05	0.18	0.08	87	98	10.39	1.11	2	—		
I 5	B 40-N-240	定着継手	40	×	242	—	—	0.13	83	93	11.53	1.23	3	—		
I 6	B 40-J-240	—	40	○	242	0.05	0.15	0.15	90	101	11.89	1.27	6	—		
I 7	B 60-J-240	—	60	○	283	0.05	0.14	0.11	88	99	12.17	1.30	9	—		
II 8	B 40-J-300	—	40	○	314	0.04	0.16	0.10	86	97	12.67	1.35	7	—		
II 9	B 60-J-300	—	60	○	314	0.04	0.18	0.09	87	98	13.16	1.40	10	圧壊		
II 10	B 40-J-400	—	40	○	404	0.04	0.18	0.10	86	97	13.63	1.45	11	—		
II 11	B 60-J-400	—	60	○	404	0.05	0.14	0.11	87	98	13.22	1.41	9	—		
II 12	B ₄₀ -J-240	—	40	○	248	0.06	0.16	0.11	86	97	11.47	1.22	3	付着切れ		
II 13	B ₆₀ -J-400	—	60	○	404	0.04	0.14	0.11	85	96	13.98	1.45	13	圧壊		
I 14	B ₄₀ -J-240	—	40	○	283	0.05	0.19	0.04	82	92	13.45	1.39	13	—		

クリート強度の高いものは全て、基本試験体と同様に圧壊型となっているが、継手部コンクリート強度の低いものあるいは同一強度でも、継手長さの短いものは

付着切れ型を呈した。図 II.2.71 の鉄筋間隔との関係からは定着継手が、破壊耐力および変形能力とも重ね継手の成績を上回った。また図 II.2.72 の継手部コンクリート強度に関しては、定着継手は継手部のコンクリート強度を高くするほど、破壊耐力および変形能力は共に大きくなる。したがってコンクリート強度が高く、継手長さが長い定着継手については、継手を一断面に集中させても、高応力耐力性能試験および破壊試験に対して良好な結果が得られた。

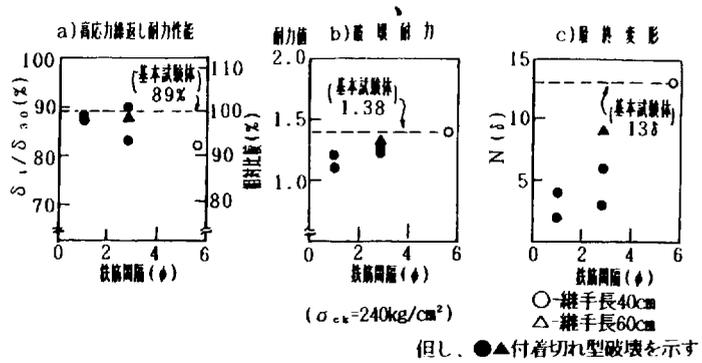


図 II.2.71 鉄筋間隔と各結果の関係

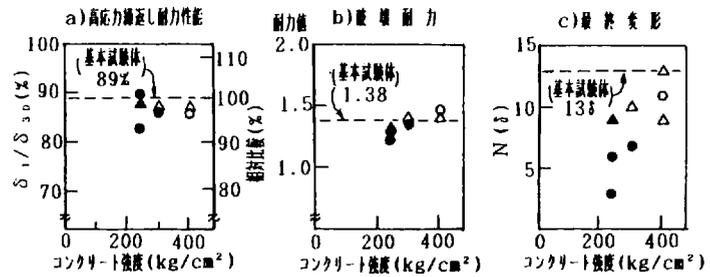


図 II.2.72 継手部コンクリート強度と各結果の関係

2.23 太径異形鉄筋(D 51)の重ね継手に関する実験的研究⁶⁹⁾

a. 実験概要

(1) 概要

本研究は従来の太径異形鉄筋において、ガス圧接継手が一般に用いられてきたが、最近の要望に対して太径異形鉄筋、特に D 51 の異形鉄筋における重ね継手の利用に関して資料を得るため、重ね継手長さ、横補強筋量を変数としてはりの曲げ試験を行い、重ね継手の適用を検証するものである。

(2) 実験

供試体および実験方法を図 II.2.73 に示す。重ね継手は曲げスパン中央に設け、実験変数は継手長さを 15d、25d、35d、かぶり厚さを 1.67d、継手部

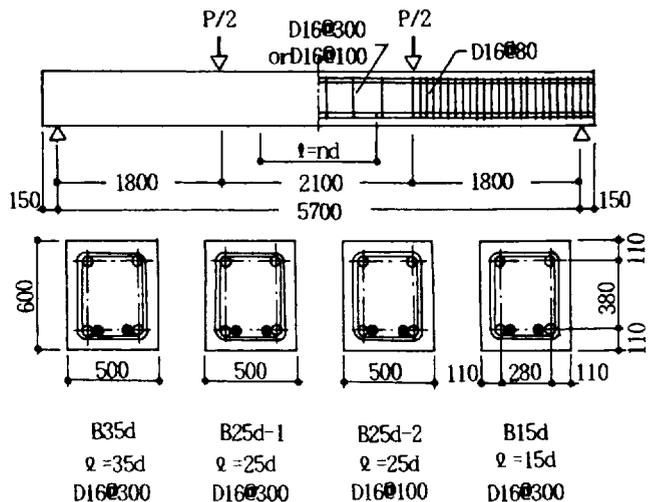
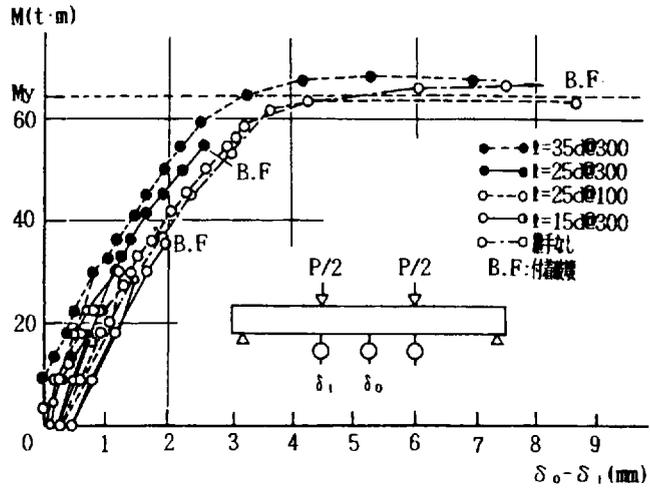


図 II.2.73 供試体と実験方法

の横補強筋（スターラップ）はD16を用い、間隔を30cm、但し継手長さ25d に関しては10cmとした。主筋はSD35級のD51とし、コンクリート強度は244kgf/cm²とした。

b. 実験結果および考察

各供試体のスパン中央のたわみを図II.2.74 に、また実験結果一覧を表II.2.33 に示した。付着力が作用している間、継手部の引張鉄筋量が継手のない断面の2倍あるため曲げ剛性が増加する。25d 以下の継手長さの短い場合には付着破壊を示し、また同一の重ね長さの場合、スタ



図II.2.74 曲げモーメント相対たわみ

ーラップ間隔が粗いものより密なものの方が鉄筋強度を発揮した。図II.2.75 には継手部の付着応力度分布を示した。

表II.2.33 重ね継手の実験結果

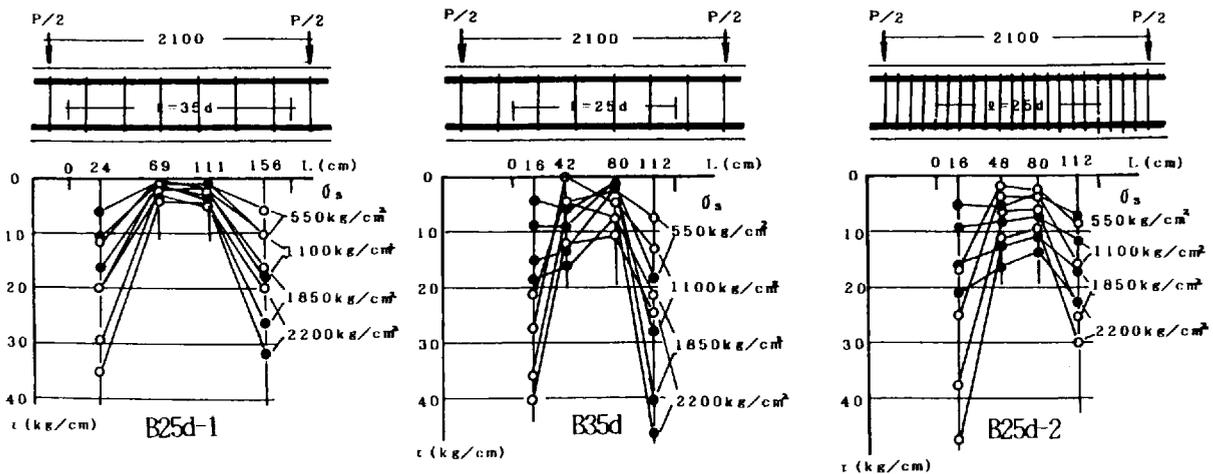
供試体 記号	継手 長さ l	スタ ラップ	F _c kg/cm ²	破 壊 時			σ _s kg/cm ²	τ kg/cm ²	τ F _c
				変位 (mm)	モーメント My (tm)	形 式			
B-210	なし	16@300	355	7.45止	70.1	曲げ壊	-	-	-
B35d	35d	#	244	6.97止	67.0	#	4058	29.0	0.12
B25d-1	25d	#	#	2.51	56.7	付着壊	3436	34.4	0.14
B25d-2	25d	16@100	#	8.57	63.0	#	3818	38.2	0.16
B15d	15d	16@300	#	2.00	35.0	#	2122	35.2	0.15

(注) F_c コンクリートの圧縮強度

τ: 重ね継手破壊時の付着強度(=σ_sd/4l)

σ_s: 重ね継ぎ手破壊時の引張鉄筋応力(=Mu/Asj) j=7d/8 d有効高さ49cm

As: 引張鉄筋量



図II.2.75 付着応力分布

付着応力度分布は両端が高く中央が低く、付着の高低差は継手長さが長いほど顕著であり、短いものほど付着応力が均一化している。また継手部に継手部のスターラップを密に入れると継手部の付着強度を増加させ、補強方法として有効であることが分かる。

2.24 太径異形鉄筋の重ね継手に関する研究⁷¹⁾

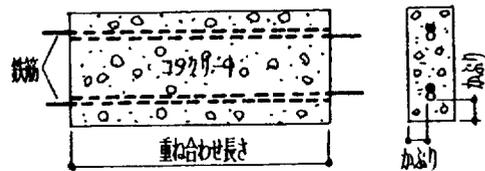
a. 実験概要

(1) 概要

太径異形鉄筋の重ね継手は、現場の状況によっては施工性、経済性等の面から他の継手工法に比べて有利となる場合が多く、実用化が望まれる。本研究は太径異形鉄筋D51を用いた重ね継手の基礎的な資料を得ることを目的とした。

(2) 実験

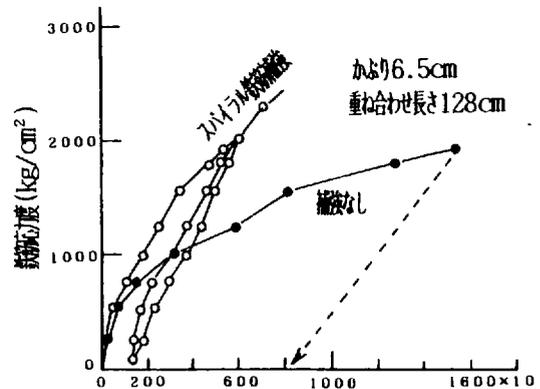
供試体は、面引試験体とし、図II.2.76に示した。実験変数は重ね長さを10d、20d、25d、30dとした。使用鉄筋はリバコンD51とし、コンクリート強度は300kgf/cm²とする。また継手部端部の鉄筋回りにはリングテンション歪計を設置した。



図II.2.76 供試体重ね継手部

b. 実験結果

重ね長さが極端に短い場合には縦ひび割れが急激に発生して、割裂付着破壊を呈した。供試体の破壊時の鉄筋応力度と重ね長さの関係からスパイラル筋で重ね継手部を補強すると30~40%継手強度が増大する。



図II.2.77 リングテンション歪計測定結果

これは継手端部のみ補強しても同様の効果が見られた。これらは縦ひび割れ発生と同時に歪量が増大している図II.2.77のリングテンション歪からも確認される。

2.25 太径鉄筋D51の重ね継手の補強法に関する試験⁷²⁾

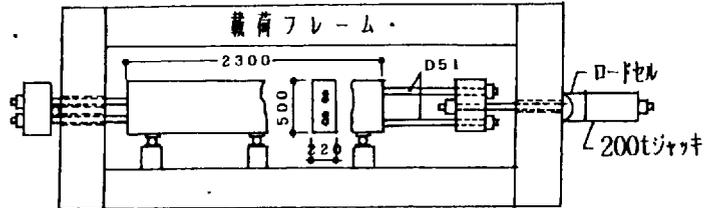
a. 実験概要

(1) 概要

太径鉄筋の重ね継手は現状では使用例も少なく未解決の部分も多いが、本研究は両引試験により重ね継手の補強法について検討した。

(2) 実験

供試体の種類および要因は表II.2.34に、供試体の形状を図II.2.78に示した。実験変数は継手部の補強法（配力筋、スパイラル筋、くさび）コンクリート強度、継手長さ、鉄筋の表面形状である。コンクリート強度は310、220kgf/cm²の2種とした。



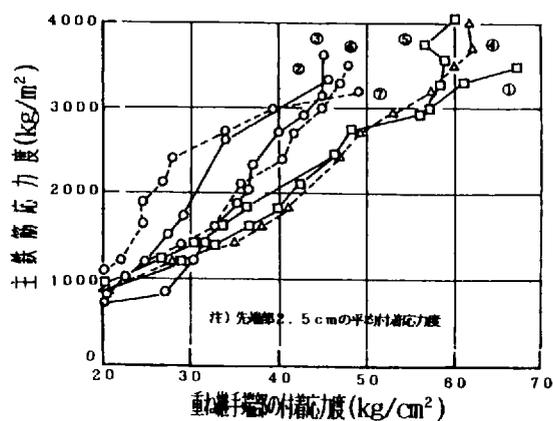
図II.2.78 供試体形状と載荷方法

表II.2.34 供試体種類と試験要因

	配力筋	補強具	σ_{ck} (kg/cm ²)	継手長	種別
①	$\phi 9@150$	なし	300		A
②	#	#	#	25 ϕ	A
③	#	#	#	#	B
④	D16@150	#	#	#	A
⑤	D22@150	#	#	#	A
⑥	$\phi 9@150$	クサビ	#	20 ϕ	A
⑦	#	スパイラル	#	#	A
⑧	D16@150	なし	240	25 ϕ	A

b. 実験結果および考察

継手部の付着応力度によると、配力筋の増加により付着応力度を増大させる傾向があり、この場合配力筋径には左右されない。またスパイラル筋の場合には重ね長さにかかわらず付着応力度が大きく、縦ひび割れ幅の増大を防ぐ効果がある。



図II.2.79 重ね継手端部の付着応力度

2.26 重ね継手の補強方法に関する実験的研究⁷⁴⁾

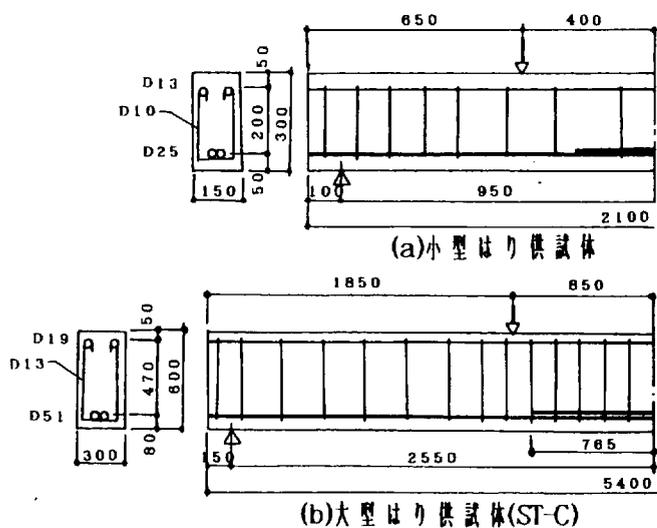
a. 実験概要

(1) 概要

本研究では重ね継手をスターラップと3種類のらせん鉄筋とにより補強した2種類のはり供試体において、重ね継手部分における軸方向引張鉄筋に直角な方向の変形を実測して、この変形の拘束効果を各補強方法について検討した。

(2) 実験

試験体は、図II.2.80に示すように軸方向引張鉄筋にD25の小型はり供試体および太径鉄筋D51を用いた大型はり供試体とした。実験変数は小型はり供試体では、重ね長さを10d、20d、コンクリート圧縮強度を431、176kgf/cm²、スターラップ(D10)を併用した3種類のらせん鉄筋(5φ)とスターラップのみとした4種、大型はり供試体では重ね長さ15d、30d、スターラップとらせん鉄筋補強とした。



図II.2.80 供試体の形状

表II.2.35 小型はり供試体の種類と実験結果

供試体名	補強の種類	重ね長さ l/φ	破壊荷重 (t)	破壊状況	圧縮強度 kg/cm ²
H	—	—	19.5	Y,C	431
HA-20	A	20	21.0	Y,C	
HB-20	B		20.7	Y,C	
HC-20	C		20.3	Y,C	
HD-20	D		18.7	Y,C	
HA-10	A	10	20.4	Y,C	
HB-10	B		19.6	Y,C	
HC-10	C		20.0	Y,C	
HD-10	D		11.0	B	
L	—	—	17.9	Y,C	
LA-20	A	20	17.9	Y,C	
LB-20	B		17.8	Y,C	
LC-20	C		17.8	Y,C	
LD-20	D		11.5	B	
LA-10	A	10	11.1	B	
LB-10	B		11.0	B	
LC-10	C		12.0	B	
LD-10	D		7.0	B	

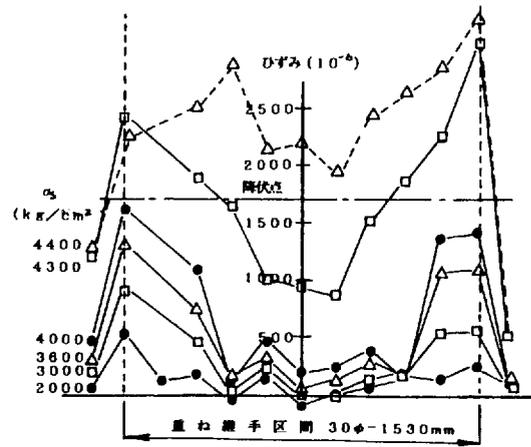
A: 交互巻らせん鉄筋 B: 等径巻らせん鉄筋
 C: 等径二重巻らせん鉄筋 D: らせん鉄筋無し
 **Y: 鉄筋斜伏 C: コンクリート圧壊
 B: 継手破壊

b. 実験結果および考察

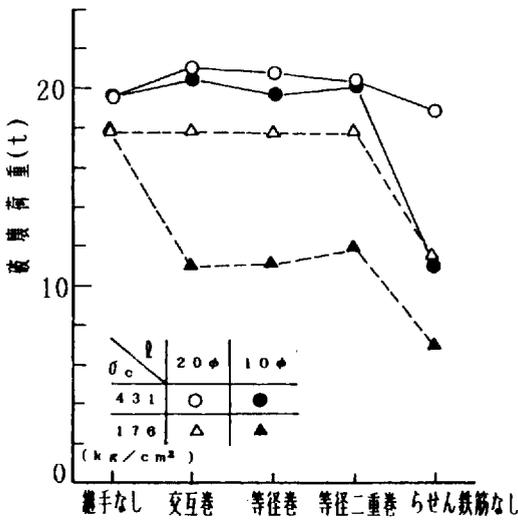
(1) 小型はり供試体の実験結果

実験結果を表II.2.35、各補強方法別に破壊荷重を示したのが図II.2.81である。らせん鉄筋で補強されたものはコンクリート強度が高い場合には重ね継手長

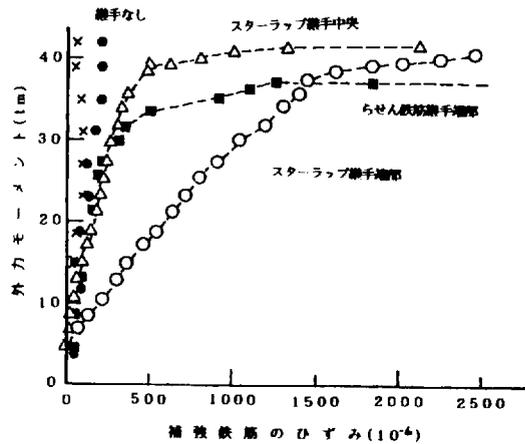
に左右されず、継手効率が良好である。またその時のらせん鉄筋の巻型による差異はないものと思われる。図II.2.83の重ね継手部分の軸方向引張鉄筋と直角に交わるスターラップの歪の推移はらせん鉄筋による直角方向の変形の拘束効果が顕著に認められる。



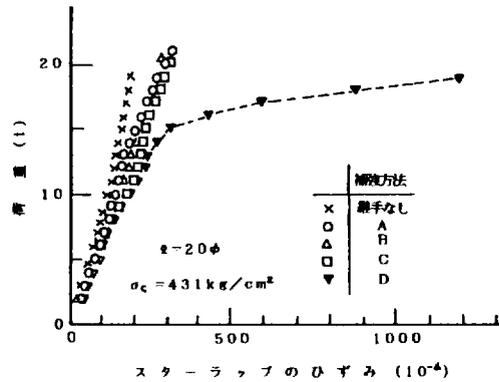
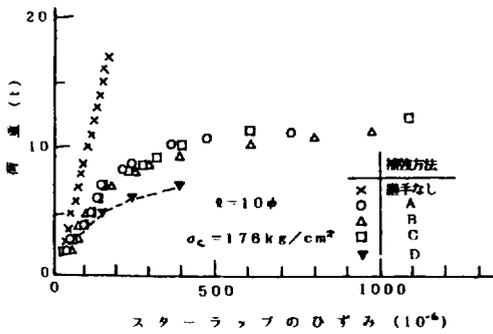
図II.2.83 はり幅方向のスターラップの歪分布



図II.2.81 重ね継手の補強方法と破壊荷重



図II.2.82 重ね継手の補強鉄筋のひずみと荷重との関係



図II.2.84 はり幅方向の変形

(2) 大型はり供試体の実験結果

大型はり供試体の実験結果を表II.2.36に、補強鉄筋の歪の推移を図II.2.82に、スターラップおよびらせん鉄筋の歪分布をそれぞれ図II.2.85に示した。こ

表 II. 2. 36 大型はり供試体の種類と実験結果

供試体	補強の種類	重ね長さ l/φ	*** a	*** c	破壊荷重 (t)	破壊モーメント (tm)	繰返し回数 (回)	破壊状況	圧縮強度 kg/cm ²
SF-A	A	15	185	140	40.0	37.0(37)	3	Y,C	370
SF-B	B	15	185	140	12.0	11.1(26)	1	B	
SF-C	D	30	170	170	48.9	41.6(98)	5	Y,C	
SF-D	-	-	170	170	50.0	425(100)	2	Y,C	

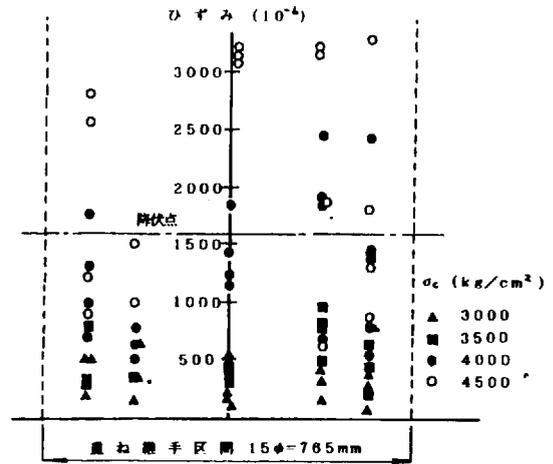
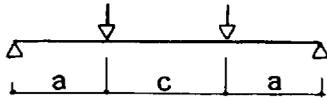


図 II. 2. 85 ラせん鉄筋のひずみ分布

れらによると重ね継手端部の歪の値が大きく、スターラップの場合には中央部に近づくほど小さくなっている。最終的には引張主鉄筋が降伏後、継手中央部の歪も急増し、降伏点に至っている。またらせん鉄筋も同様の結果となり、十分な耐力を保持できるものと言える。

2. 27 既往研究における継手単体性能に関する総括

上述した既往の研究の大部分は曲げモーメント一定区間での実験であり、これらから得られる知見を総括してみると以下の様にまとめられる。付着応力度に関しては、重ね継手長さが大きいときには付着応力分布は不均一であるが、横補強筋により均一化することが³⁷⁾ またこれらの横補強筋の間隔は拘束効果に影響し、横補強筋量が多いほど付着強度が増加する。¹⁶⁾ 同一継手位置で重ね継手した場合の最大平均付着応力度は、継手長さが大きいほど小さくなる傾向にある⁴³⁾ 等、付着応力度は重ね継手長さに影響される。また重ね長さが短い場合にはコンクリート強度の影響を受け易く、付着応力が大きくなる傾向¹⁰⁾ にあると言える。重ね継手長さに関しては、重ね継手長さが長いほど塑性率は大きく¹⁹⁾、継手集中度が小さいほどエネルギー吸収能力が向上し、一断面に集中させても良好な結果が得られ²¹⁾、継手集中度が小さく、重ね長さが長いほど降伏後の靱性が大きく、最大荷重以後の耐力低下が緩慢である²²⁾ 等、適切な重ね継手長さを取ることで十分に連続筋と同等な性状が得られると言える。またコンクリート強度に関しては、重ね継手鉄筋が引張降伏しない限り、コンクリート強度に拘らず

ほぼ重ね長さに比例して終局曲げモーメントが増大し、また重ね長さに拘らずコンクリート強度の増大にともない終局モーメントが増大する²³⁾と言える。

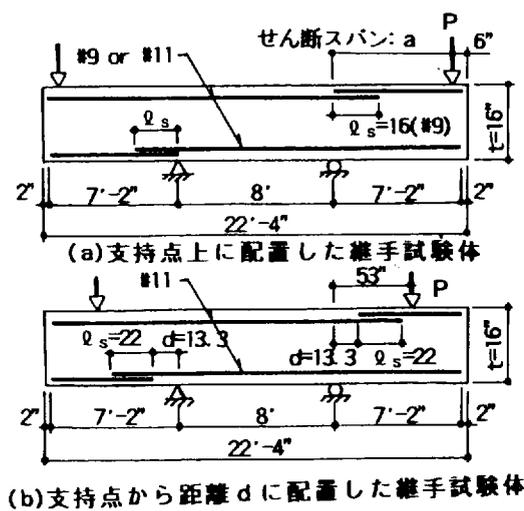
第3節 重ね継手に関する既往論文と本論文の接点

重ね継手に関する既往の研究の再考では、重ね継手、特に短い重ね継手長さの場合にはコンクリート強度の影響を受けやすく¹⁰⁾、またコンクリート強度が高く、継手長さが長い定着継手については継手を一断面に集中させても良好な結果が得られている。⁵⁶⁾ こうした実験の多くは継手長さにわたって一定の曲げモーメントを受けた場合について行われたものであり、継手長さを十分に取ることにより、重ね継手中央では剛性、耐力（応力）が2本の連続筋と同等であること等が、既往の文献（第II章第2節参照）から十分に読み取ることができる。^{61)・69)}

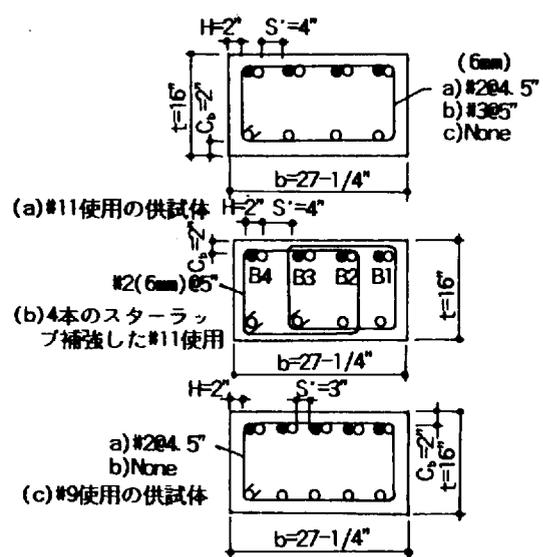
これらの文献において、継手部が曲げモーメントのみを受ける場合と、曲げとせん断を受ける場合の継手の強度の差についての検討は、既往の研究ではほとんど見られない。しかし最近での施工上の要求、例えばプレキャストはり部材と柱部材との接合などから、重ね継手を曲げせん断域に設けざるを得ない場合も増えつつあり、これらに関する研究^{43)・46)・79)}が二三見受けられるようになった。

本論文は、モーメントピーク点上での重ね継手筋を利用することを主眼とし、この場合せん断力の影響が懸念される。ここでは高せん断力を受けた重ね継手強度に関する文献[79]を特に取り上げ、既往研究との整合性と本研究の接点を模索し、本論文の評価の一助とするものである。

文献79では試験体を図II.3.1、図II.3.2に図示したように、同一の試験体にお



図II.3.1 試験体形状



図II.3.2 供試体断面

表 II. 3. 1 実験結果一覧

Nb	鉄筋径	せん断スパン (in)	重ね長さ (in)	コンクリート強度 f_c' (psi)	終局強度 P_u (Kips)	断面強度 f_s (ksi)	平均載荷 U_1 (psi)	せん断補強筋 (in ² とmm)	試験位置
1	#11	40	22	3700	61.8	31.8	509.1	2-#305	上端
2	#11	40	22	3750	68.4	35.7	572.4	2-#305	下端
3	#11	53	22	3775	50.9	33.9	542.5	2-#305	上端
4	#11	53	22	3775	53.3	35.8	573.2	2-#305	下端
5	#11	53	22	4125	56.9	39.7	619.7	2-6#04.5	下端
6	#11	53	22	4150	52.9	35.6	569.5	2-6#04.5	上端
7	#11	80	22	3825	33.9	34.7	555.4		上端
8	#11	80	22	3825	34.0	34.8	557.2		下端
9	#11	80	22	4200	38.2	39.7	636.4	2-6#04.5	下端
10	#11	80	22	4200	35.9	37.0	593.0	2-6#04.5	上端
11	#11	40	22	3850	70.6	37.1	594.3	4-6#05	上端
12	#11	40	22	3850	74.5	39.4	631.5	4-6#05	下端
13	#11	53	22	4025	55.0	37.0	594.5	2-6#04.5	上端
14	#11	53	22	4025	57.3	38.6	619.8	2-6#04.5	下端
15	#11	53	22	4125	61.3	41.7	669.9	2-6#04.5	上端
16	#11	53	22	4125	57.0	38.6	619.1	2-6#04.5	上端
17	#11	40	22	5425	68.0	35.5	569.4	2-6#04.5	上端
18	#11	40	22	5425	81.3	43.1	690.9	2-6#04.5	下端
19	#11	40	22	5050	82.3	43.7	700.7	2-6#04.5	上端
20	#11	40	22	5050	71.0	37.7	598.4	2-6#04.5	上端
21	#9	53	16	5650	49.0	39.7	700.6		上端
22	#9	53	16	5650	53.3	43.6	768.9		下端
23	#9	53	16	5700	64.3	54.2	956.6	2-6#04.5	下端
24	#9	53	16	5700	47.2	37.7	665.1	2-6#04.5	上端

表 II. 3. 2 継手強度に対するせん断の影響

試験体 Nb	せん断スパン (in)	$\frac{U_1}{\sqrt{f_c}}$	変化率 (%)	$\frac{V_u}{\sqrt{f_c}}$	増加率 (%)
3	53	8.83	-5	2.29	22
	40	8.37		2.80	
4	53	9.33	+1	2.39	30
	40	9.41		3.10	
10	80	9.15	-3	1.53	48
	53	8.84		2.27	
9	80	9.82	-2	1.63	50
	53	9.62		2.44	

表 II. 3. 3 継手強度に対する継手位置の影響

試験体 Nb	せん断スパン (in)	f_c' (psi)	断面Aにおける f_s (kips)	$\frac{P_u}{\sqrt{f_c}}$ (lbs)
1	40	3700	32	1016
13	53	4025	28	867
16	53'	4125	29	888
2	40	3700	36	1125
14	53	4025	39	902
15	53'	4125	31	954

いて上端、下端継手についての試験を可能とした。実験変数はせん断力の程度、横補強筋の量と形状、継手の配筋位置、コンクリート強度、鉄筋サイズ、せん断スパンに沿った継手位置とした。実験結果一覧を表 II. 3. 1 に示した。結果は、せん断力の大きさが重ね継手強度に対して、表 II. 3. 2 に示したように、せん断力が 22%~50% と増加しても、付着強度の変化は 1%~ -5% とわずかなものであり、せん断力の大きさは継手強度においては影響がないものと言える。また横補強筋の増加は表 II. 3. 4 にあるように、断面のせん断強度を本質的に増加させるが、付着強度の変化は 9%~ -5% と全く小さい。しかし横補強筋は割裂ひび割れの大き

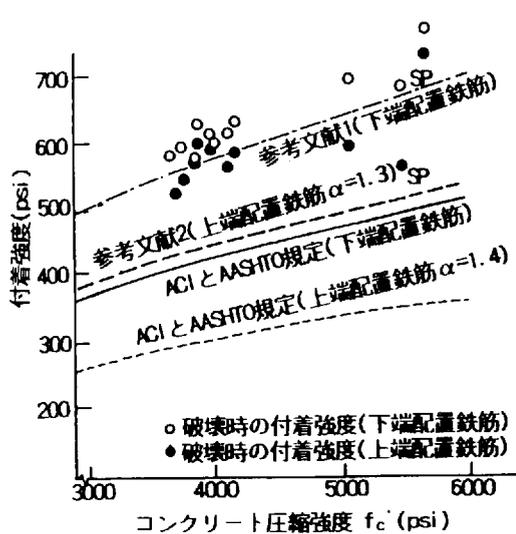


図 II . 3 . 3 コンクリート圧縮強度に対する付着強度の変化

表 II . 3 . 4 継手強度に対するせん断補強筋量の影響

試験体 No	ρ_s (%)	実験値		計算値		
		$\frac{U}{\sqrt{f'_c}}$	比率 (%)	K_{tr}	$\frac{U_{calc}}{\sqrt{f'_c}}$	比率 (%)
7 10	0 0.072	8.98 9.15	+2	0 0.33	6.66 6.99	+5
8 9	0 0.072	9.01 9.82	+9	0 0.43	8.66 9.09	+5
6 3	0.072 0.161	8.84 8.83	0	0.33 0.72	6.99 7.38	+6
5 4	0.072 0.161	9.62 9.33	-3	0.43 0.94	9.09 9.60	+6
21 24	0 0.072	9.32 8.81	-5	0 0.32	6.70 7.02	+4
22 23	0 0.072	10.23 12.67	+24	0 0.41	8.71 9.12	+3
		平均	+4.5	平均	平均	+5

さと伸長の制御に関して、継手性状を改善すると言え、またその補強筋の形状は全ての重ね継手に掛かるような補強筋がより有効に効力がある⁴⁵⁾と言える。また上端継手全てが下端継手の実験に対して、付着強度の減少を示す。下端継手に関しては図 II . 3 . 3 に示したように、コンクリート強度が増加すると付着強度も増加することが理解される。重ね継手長さが適切であれば応力の大きいところであっても十分耐震性能を得られるとした先に取り上げた文献 43 と共に、文献 79 は重ね継手強度はせん断力の存在に影響を受ける事が少ない事を示した。

このように懸念されたせん断力についての影響は、文献による裏付けを得られたが、これに対して本研究が意図としているような継手域がモーメント勾配下にあり、その上曲げモーメントピーク点上における重ね継手が 2 本の連続鉄筋として挙動する可能性（均等曲げモーメント下における重ね継手の知見を準用して理解することができるが）に関する研究は見当たらない。そこで第 III 章以下の部分では本研究で意図（第 I 章）した曲げモーメントピーク点に重ね継手の中心を置き、すなわち継手を曲げモーメント変化域に置き、大きなせん断力の下にさらすという提案が成り立つことを継手強度を支配すると思われる種々の条件を変化させて体系的に検証し、その上で実用配筋の提案を行うこととする。

第Ⅲ章 連続スラブの中間支持点（曲げモーメントピーク点）に 設けた鉄筋重ね継手に関する研究

第1節 研究の目的と実験の進め方

本研究は、一般に行われている多数の均等曲げモーメント下における重ね継手に対する各種要因を明らかにした既往の研究、また少数ではあるが曲げせん断領域に用いられた重ね継手の研究（第Ⅱ章参照）から得られた基礎的資料に基づき、本来の用いられ方、即ち一本の鉄筋力の伝達を目的とした重ね継手から、曲げモーメント勾配のある領域で、更に曲げモーメントピーク点上にこれらの重ね継手を用いることにより2本分の連続筋としての役割を持たせようとするものであり、そのために各種長さの重ね継手を曲げモーメントピーク点上に設け、支持点上で鉄筋2本分の耐力を発揮し、2本の連続筋と同等の性能が得られる適切な重ね継手長さについて、実験的に検証を行うものである。

実験は、本研究の対象が連続スラブの中間支持点上の上端引張筋に、この種の重ね継手を用いた場合を対象としていることから、まず部材各断面の応力が確定できる静定ばりにより、重ね長さのみをパラメータとしたシリーズⅠとしてのパイロットテストを実施し、この種の重ね継手の定性的な挙動を調べる。更にこれを基にシリーズⅡでは、特にここで意図とする使い方をした場合に継手部に影響するであろう諸要因（せん断力の大小、直交筋の位置、重ね継手筋の位置〔上端筋か、下端筋か〕）について検討を行い（第2節）、次にシリーズⅢでは、通常の連続スラブは不静定であることから、スラブ固定端の曲げ亀裂の早期発生による剛性低下およびモーメント再配分などが考えられるので不静定の2スパン連続ばりによりこの種の重ね継手の挙動（耐力と靱性など）を検証し（第3節）、さらにシリーズⅣでは実際に即した鉄筋を用いての不静定2スパン連続スラブの実験により確認し、これらの一連の実験成果に基づいて、この種の重ね継手の所要長さや配筋法についての提案を行うものである。（第4節）

第2節 曲げモーメントピーク点に設けた重ね継手の挙動

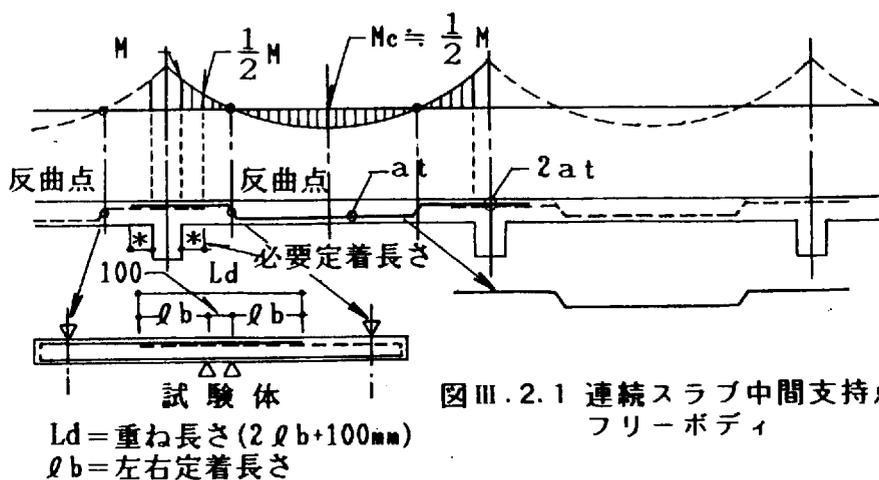
— 静定スラブによる研究 —

2.1 シリーズI：パイロットテスト

本章は重ね継手を重ね中央点からの定着と考え、連続スラブの中間支持点上の上端引張筋にこの重ね継手を用いた場合、支持点上における継手の耐力、剛性に対して重ね継手長さがどのような影響を与えるか、その性状の定性的把握のために研究を行ったものである。対象とする連続スラブ固定端の上端筋は、コンクリート打設時には上端筋で、付着割裂に対して直交筋の拘束も期待しにくい条件にあり、付着強度は比較的弱い上に、ばらつきが大きいものと考えられる。そこで各種重ね長さに対する重ね継手の性能（耐力、剛性）を見る上で、なるべくばらつきの影響を少なくするためにシリーズIパイロットテストではあえて付着に有利な条件として、コンクリート打設時に重ね継手の試験鉄筋を下端配置とし、且つ付着およびせん断に対して、横筋補強による拘束を十分に施すため、重ね継手部補強は閉鎖型のスターラップ型補強とし、重ね長さだけをパラメータとして実験を計画した。またここではせん断スパンは、連続ばりのM図における反曲点と固定端の距離にほぼ対応するものと考えた。

2.1.1 試験体種別

図Ⅲ.2.1のように、連続ばり中間支点を含み、両側スパンの曲げモーメント反



曲点間をフリーボディとして取り上げた2点集中荷重静定ばり形式とした。試験体は、継手の中心位置が最大応力状態となるような荷重状態とするために、中央 $10d_b$ (d_b :鉄筋直径)を支持点に、支持点より左右にせん断スパン $60d_b$ を加力点とした2点集中荷重の板状はり型部材とした。試験体断面は、 $b \times D = 25 \times 10 \text{cm}$ (有効せい 8cm)、引張鉄筋および圧縮鉄筋は2-D 10とし、連続筋との同等性を比較検討する連続配筋体では引張鉄筋については4-D 10を主とし、更に比較のために一部に2-D 10の連続筋を配した連続配筋体の場合を加える。図Ⅲ.2.2に試験体の寸法および配筋詳細を、図Ⅲ.2.3(a)には断面形状を示す。また表Ⅲ.2.1には試験体一覧を示す。

重ね継手試験体における継手重ね長さは、試験体の中央上端に中央支持点幅 $10d_b$ に左右それぞれ $10d_b$ の定着とした重ね長さ $30d_b$ 、左右 $20d_b$ の定着とした重ね長さ $50d_b$ 、左右 $30d_b$ の定着とした重ね長さ $70d_b$ 、左右 $40d_b$ の定着とした重ね長さ $90d_b$ の全数継手を設けた4体、比較用に継手を設けない試験体として、2-D 10連続配筋体および4-D 10連続配筋体、そして2-D 10の連続筋に長さ $90d_b$ の2-D 10のカットオフ筋を添えた3体、合計7体とする。

本研究は、鉄筋コンクリートスラブの中間支持点に設ける継手を対象としているので、全試験体を通じて継手間の相互のあきおよび側方のあきは十分に取り(継手相互のあきは約 $10d_b$ 、側方のかぶりは約 $6d_b$)、コーナースプリットあるいは側面割裂型の付着破壊は生じないように計画した。試験体の継手域内の横方向の補強は、図Ⅲ.2.3(a)に示すように継手域外と同様の閉鎖型スターラップ型補強筋とした。本来スラブ端部の上端筋の継手を対象にしているが、付着強度の実験的ばらつきを危惧して、実験対象である重ね継手部分は、コンクリート打設時に下端配筋として試験体を作成し、コンクリートを打設した。

2.1.2 使用材料の機械的性質

使用鉄筋は、主筋にSD345のD 10、スターラップ型補強筋にはSR245の6φを、鉄筋の機械的性質を表Ⅲ.2.2に示した。

コンクリートは最大寸法 10mm の粗骨材を用いた普通コンクリートとし、コンクリート強度は $F_c = 300 \text{kgf/cm}^2$ を目標とした。それぞれの試験体の試験時のコンク

リート圧縮強度を表Ⅲ.2.2に示した。

2.1.3 加力および測定方法

加力は図Ⅲ.2.2(c)に示すように重ね継手部が、上側になるようにセットし、中央 $10d_b$ 区間を支持点に、各支持点に左右に $60d_b$ のせん断スパンをとった2点集中載荷とする。このせん断スパンは、連続ばりのM図における反曲点と固定端の距離に対応するものと考えている。

載荷は、4-D10連続配筋体(N-2)の載荷履歴を基準とし、鉄筋応力($M=a_t \cdot \sigma_t \cdot j \cdot j=7/8 \cdot d$ による計算値 σ_t)が1000、1500、2000、2500、3000、3500、 $\sigma_y=3960\text{kgf/cm}^2$ (降伏強度)に相当する荷重で一方向漸増繰り返しの荷重制御とし、その後は連続配筋体(N-2)の引張鉄筋降伏時変形 δ_y を基準に、 $2\delta_y$ 、 $4\delta_y$ 、 $6\delta_y$ で一方向繰り返しの変形制御とした。図Ⅲ.2.3(c)に載荷履歴を示す。

測定は各荷重段階毎にはり側面およびはり上面(引張側)のひび割れ進展状況の観察と、図Ⅲ.2.3(b)に示すように継手中央および継手起点の主筋歪、そして中央コンクリート圧縮縁歪をワイヤーストレインゲージ(鉄筋:検長5mm、コンクリート:検長30mm)にて、また中央支持点に対する加力点のたわみをゲージホルダーにとりつけた電動式ダイヤルゲージ(精度:1/100mm)にてそれぞれ計測を行った。

2.1.4 実験結果および検討

(1) 破壊状況

各試験体の最終的破壊状況を図Ⅲ.2.4に示した。

- 1) 連続筋を配したN-1、N-2およびカットオフ筋を添えたN-3供試体は共に中央部の鉄筋が降伏後、支持点引張域の曲げひび割れが荷重増加と共に圧縮域に進展し、圧縮側コンクリートの圧壊によって耐力が低下し、破壊に至った。
- 2) 重ね継手が $30d_b$ と $50d_b$ の比較的継手の短い供試体J-1、J-2は曲げ初ひび割れが支持点上に発生するが、荷重が増加してもそれほど大きな進展を見せず、供試体の継手起点に生じたひび割れが圧縮域へと大きく進展を始め、

継手起点の鉄筋が降伏に至り、曲げひび割れからせん断ひび割れへと移行すると同時に鉄筋継手に沿った縦ひび割れが発生した。その後荷重増加により継手上のコンクリート圧縮域が圧壊を始め、耐力が低下した。

- 3) 重ね継手 $70d_b$ の J-3 は継手起点のひび割れが開口して、鉄筋が降伏点に達し、ややしばらくして中央部上のひび割れが開口して、その後継手に沿った縦ひび割れが生じたが、破壊は J-1、J-2 同様、継手起点上の圧縮域が圧壊して耐力低下に至った。
- 4) 重ね継手長さ $90d_b$ の J-4 は重ね継手鉄筋の中央部が降伏した後、継手に沿った縦ひび割れが生じたが、支持点上に発生していたひび割れが荷重増加と共に大きく開口し、最終的に圧縮域圧壊によって最大耐力に達した。重ね継手供試体にはいずれも重ね継手に沿ったひび割れが発生したが、継手部補強が十分であったため直接の破壊にはつながらなかった。

(2) 荷重・変位関係

各試験体の荷重 P と支持点に対する加力点の変位 δ の関係を図 III.2.5(a)～(g) に示した。更にこれらの包絡線についてまとめたのが図 III.2.6 である。

これを包絡線図によって相対的に比較すると、各種長さの重ね継手試験体の挙動は定性的に連続配筋体、N-1 (2-D 10) と N-2 (4-D 10) の間に位置するように、その性状がおおよそ示された。すなわち継手を持つ供試体すべては、継手のない 2-D 10 連続配筋供試体 N-1 より剛性および耐力とも大きいことが示され、またこれらの継手を持つものの中では重ね長さを $30d_b$ 、 $50d_b$ 、 $70d_b$ 、 $90d_b$ と長くなるにしたがって剛性および耐力は大きくなる。その中で重ね長さが $70d_b$ 、 $90d_b$ のものは 4-D 10 を連続配筋した N-2 と比べ、N-2 の包絡線に追従し、剛性および耐力がほぼ同様となり、重ね長さ $90d_b$ の供試体は連続配筋体 N-2 より十分な変形能を示している。また各試験体共に重ね継手鉄筋に沿った縦ひび割れが生じたものの、試験鉄筋には重ね継手部分も含め、 $2-6\phi$ の閉鎖型スターラップ補強が施してあるので、最大耐力以後の急激な耐力低下には至らなかったものと考えられる。これらの $P-\delta$ 関係から、重ね継手長さを $70d_b$ 以上とることができ、継手部の補強が十分ならば、継手部の鉄筋量が連続筋をほぼ 2 本分配したときに相当す

る剛性、耐力が得られるものと言える。

(3) 荷重・歪関係

各試験体の連続筋中央および継手中央、継手起点の荷重・歪関係を示したのが図Ⅲ.2.7(a)～(g)である。また図Ⅲ.2.7(a)～(b)には $M=a_1 \cdot \sigma_s \cdot j$ ($j=7/8d$)による理論値を、図Ⅲ.2.7(c)～(g)の図中には、それぞれN-1、N-2における2本の連続筋の中央歪を平均化した包絡線をプロットした。これを各試験体毎に考察すると、

- 1) 連続筋のN-1、N-2は共に、中央歪が降伏歪（N-1では $\varepsilon_y=0.21\%$ 、N-2では $\varepsilon_y=0.215\%$ ）に達し、以後 P_{max} までかなり大きな歪量を呈した。
- 2) 2-D 10連続筋に2-D 10カットオフ筋を添えた供試体N-3は2本の連続筋中央および2本のカットオフ筋中央で共に荷重増加に伴い降伏歪に達し、連続筋では降伏後は、N-2同様、 P_{max} までスケールオーバーするほど歪が大きく増大して最大耐力に達した。一方カットオフ筋は降伏前後でやや歪が戻る傾向を示している。
- 3) 重ね長さ $30d_b$ の供試体（J-1）は、載荷初期の段階で継手の起点の引張歪が継手中央歪よりかなり大きな進展を示しており、起点歪は最大耐力以前に降伏歪に達し、その後荷重増加するが、それ以上進まない。また継手中央部歪は降伏に至らなかった。
- 4) 重ね長さ $50d_b$ の供試体（J-2）は、曲げひび割れ発生以後は鉄筋の重ね継手の起点の方が、継手中央部歪より大きく進展し、起点の歪は降伏歪に達するが、継手中央部はその後の荷重増加にも拘らず降伏に至らなかった。
- 5) 重ね長さ $70d_b$ の供試体（J-3）は、初期載荷時には継手中央歪が継手起点の歪よりやや大きく鉄筋の応力度が $\sigma_s=2000\text{kgf/cm}^2$ に達し、起点上にひび割れが発生する頃には起点歪が増大し、中央および起点での歪の進展状況はほぼ同様となり、その後重ね継手起点が先に降伏歪に達した後、まもなく継手中央も降伏に至っている。歪量はN-2連続筋のそれよりもやや多い結果となっている。
- 6) 重ね長さ $90d_b$ の供試体（J-4）は、重ね継手の中央が降伏に至り、降伏

までは継手なしのN-2 供試体のP- ϵ 曲線とほぼ同様の挙動を示す。一方継手起点歪は、最大耐力に達した後も降伏歪には達していないことが分かる。

前述の鉄筋歪の進展状況の観察から、重ね継手起点は、供試体によってはりのせん断スパン内における位置が異なり（即ち、左右定着長さが長いほど起点位置は加力点に近く、同荷重に対する曲げモーメントは小さく、従って応力、歪も小さくなる）、供試体相互の性状比較がし難いが、重ね継手中央点の歪は、最大モーメントの範囲に位置するので検討し易い。そこで中央点の歪（図Ⅲ.2.7(a)～(g)におけるNo.1 (○マーク)およびNo.2 (●マーク)に着目して、各試験体の歪を比較検討した。

すなわちN-1 試験体を除いては、全て供試体中央断面（継手中央点）では鉄筋が4本存在するのでN-2（4-D10連続鉄筋）のP- ϵ_s 図で P_y, ϵ_y 点（ $P=2.9$ tonf、 $\epsilon_y=0.215\%$ ）を(1,1)とし、他の試験体の中央点についてのP- ϵ_s 曲線をN-2の P_y, ϵ_y でnormalizeした結果を求め、図Ⅲ.2.8(a)～(f)に示した。

これらの図よりPmax 時に中央点歪、中央点の応力がどれだけ生じたかを調べると、表Ⅲ.2.3のようになる。図Ⅲ.2.8(a)～(f)および表Ⅲ.2.3よりわかるようにJ-3、J-4は重ね継手の中央点ではほぼ $\sigma_t \cong \sigma_y$ を発揮していることが分かる。

(4) 見かけの付着応力度

継手中央点の応力が継手末端（応力は零）までの間の付着応力でコンクリートに伝達されるとして、この間の見かけの付着応力を求めると、表Ⅲ.2.3の(4)欄の様になる。

継手中央点ではほぼ $\sigma_t \cong \sigma_y$ が発揮されるJ-3、J-4型では $\tau=28.4\text{kgf/cm}^2$ 、 22.4kgf/cm^2 が算出される。ちなみに日本建築学会（以後AIJ）の鉄筋コンクリート構造計算規準（以後RC規準）に定められた定着・継手長さ算定に用いる許容付着応力度(f_a)は $f_a=(9+\frac{2}{75}F_c)\times 1.5$ （但し短期許容付着応力度）であり、 $F_c=303\text{kgf/cm}^2$ を代入すると、 $f_a=25.62\text{kgf/cm}^2$ となる。前述のJ-3、J-4で算出

される $\tau = 28.4 \text{kgf/cm}^2$ 、 22.4kgf/cm^2 はほぼこれに近い値を示すことが分かる。

したがって本実験に関する限り、重ね継手中央で、個々の鉄筋に鉄筋の降伏強度（この場合）を発揮させるためには、AIJのRC規準の規定値を用いて求めた定着長さを重ね継手中央点から左右に延ばしておく（即ち通常の実験長さの2倍にしておく）事で良さそうな事が示唆された。

(5) 剛性比および耐力比

表Ⅲ.2.4には各試験体についての降伏荷重、最大荷重および対連続配筋（N-1およびN-2）との比および破壊形式を示した。また図Ⅲ.2.9には4-D10を配した連続配筋体N-2の降伏荷重までの荷重・変形関係の $P-\delta_0$ 図を基準に継手中央点の特定鉄筋応力（ $\sigma_s = 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 3960 \text{kgf/cm}^2$ ）に対する荷重時の継手試験体とのたわみの比 δ_0/δ を剛性比として、また連続配筋体の降伏荷重時の変形 δ_y を基準に、 $2\delta_y, 4\delta_y, 6\delta_y$ における耐力比 P/P_0 （ P :継手配筋体荷重、 P_0 :連続配筋体荷重）を示した。

表Ⅲ.2.4の破壊形式で、圧縮破壊（中央）とははり支持点中央上部のコンクリートが圧縮破壊したもの、せん断圧縮破壊（起点）とは荷重増加に伴い重ね継手の起点に生じた曲げひび割れがせん断ひび割れに移行して、起点上部のコンクリートが圧縮破壊したものである。

継手のない4-D10の連続配筋体(N-2)の $P_0-\delta_0$ 図を基準にした場合、重ね継手中央で連続筋のそれと同等な剛性、耐力が得られるのは重ね長さは $90d_b$ （左右定着長さ $40d_b$:J-4）であり、これは必要定着長さ $l_{db} = f_t/4f_a \cdot d_b \approx 39d_b$ ともほぼ一致する。また重ね継手起点でのせん断圧縮破壊を生じるものの、重ね長さが $70d_b$ （左右定着長さ $30d_b$:J-3）では剛性はやや低い耐力上 $4\delta_y$ まで十分であることが分かる。

付記：なお本節 2.1.4「実験結果および検討」中で示した実験結果の表現法および検討の手順などは、以後の 2.2節、3.1節、3.2節の各シリーズの「実験結果および検討」の中でも同様に用いている。

2.1.5 結 論

曲げモーメントピーク点上に設けた鉄筋の重ね継手に対する耐力、剛性についての基礎的な研究を行った結果、継手のない4-D 10連続配筋体と比べると重ね中央で重ね鉄筋が連続筋としての性能が得られるのは、重ね長さが $90d_b$ （左右定着長さ $40d_b$:J-4）が必要であることが、また重ね継手起点での補強を十分考慮するならば、 $70d_b$ （左右定着長さ $30d_b$:J-3）でもほぼ同等の剛性、耐力が得られるものと思われる。また重ね継手を重ね長さ中央点からの左右への定着と見なして、中央点と継手末端（応力は零）の応力差より、この部分の見かけの付着強度を求めると、重ね長さ $90d_b$ のJ-4、重ね長さ $70d_b$ のJ-3は、それぞれ $\tau = 22.4\text{kgf/cm}^2$ 、 28.4kgf/cm^2 が算定され、これはAIJの定着継手算定用の短期許容付着応力度： $f_a = 25.62\text{kgf/cm}^2$ ($F_c = 303\text{kgf/cm}^2$)に近い値を示した。

以上の事から本実験に関する限り、重ね継手中央で、個々の鉄筋に鉄筋の降伏強度（この場合、 $\sigma_y = 3960\text{kgf/cm}^2$ ）を発揮させるためにはAIJの f_a 規定値を用いて求めた定着長さを左右に延ばしておく（即ち通常の上端筋長さを2倍にしておく）事で良さそうな事が示唆された。

上述の結論は、本実験のように、付着に有利な条件として、コンクリート打設時に、重ね継手の試験鉄筋を下端筋の状態とし、また重ね継手部外側に十分な閉鎖型スターラップ筋による補強がされるなど、重ね継手の強度としては強い値が出る良い条件の実験から引き出されたものである。実際のスラブの固定支持点では、対象部分はコンクリート打ち込み時には上端筋の状態であり、またスターラップ補強も行われぬのが普通である。次の節においては、重ね継手の挙動に及ぼすせん断スパンの長さ、横筋による付着割裂拘束の有無、コンクリート打設時の上端筋または下端筋の条件などの影響について更に実験的に検討を加える。

表Ⅲ.2.1 試験体一覧

試験体名	引張鉄筋	継手長さ	
N-1	2-D 10	継手なし	
N-2	2-D 10	継手なし	
N-3	2-D 10 連続筋 + 2-D 10 Cutoff Bar(長さ=90d _b)		
J-1	2-D 10	30d _b	支持点より左右定着長さ : 10d _b
J-2		50d _b	〃 : 20d _b
J-3		70d _b	〃 : 30d _b
J-4		90d _b	〃 : 40d _b

註) 圧縮鉄筋は何れも2-D 10

表Ⅲ.2.2 使用材料の性質

鉄筋 : D 10		鉄筋 : 6 φ	
σ_y (kgf/cm ²)	3960	σ_y (kgf/cm)	3130
σ_{max} (kgf/cm ²)	5410	σ_{max} (kgf/cm)	4190
コンクリート :			
	Fc (kgf/cm ²)		303
	Ft (kgf/cm ²)		29.3
	Ec (kgf/cm ²)		2.08 × 10 ⁵

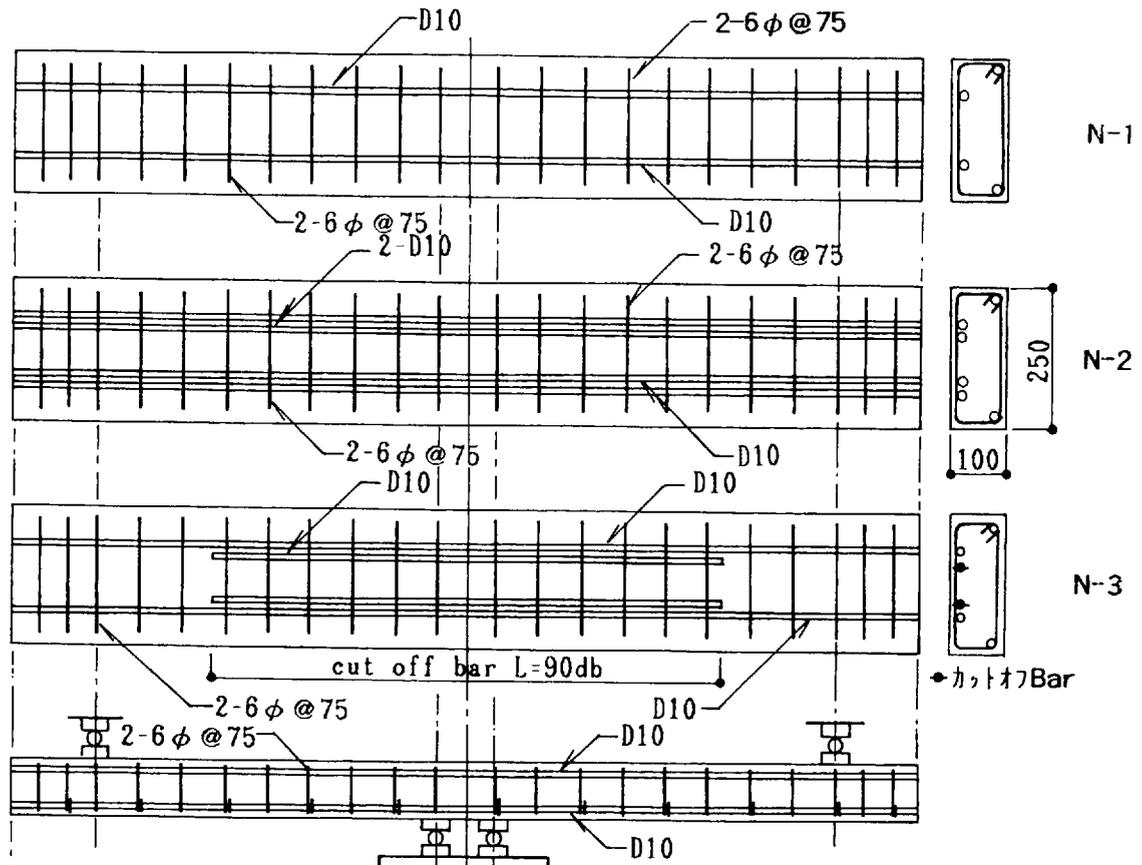
表Ⅲ.2.3 各試験体の最大荷重時における継手中央点の鉄筋応力(σ_t)および中央点と継手末端の間の付着応力(τ)

(1)		(2)	(3)	(4)	(5)
試 験 体		ϵ ($\times 10^{-6}$)	σ_t (kgf/cm ²)	τ (kgf/cm ²)	中の鉄筋の長さ nd _b
N-2	連続筋	2150(= ϵ_y)	3960	—	—
N-3	連続筋 カッター筋	2150(= ϵ_y) 2110	3960 3886	— 21.6	— 45d _b
J-1		1550	2855	47.6	15d _b
J-2		1880	3463	34.6	25d _b
J-3		2140	3942	28.4	35d _b
J-4		2150	3960	22.0	45d _b

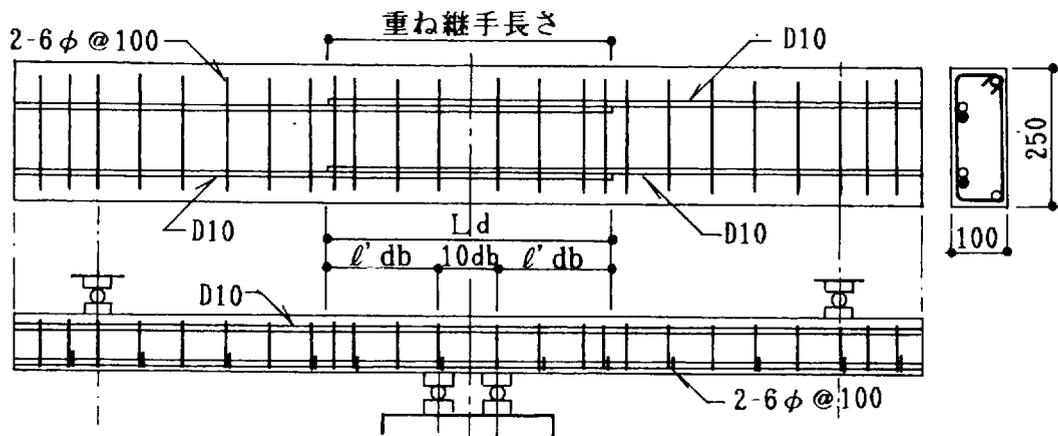
表Ⅲ.2.4 実験結果一覧

試験体名	降伏時 P_y (tonf)	最大荷重時 P_u (tonf)	$\frac{P_y}{P_{y(N-1)}}$	$\frac{P_y}{P_{y(N-2)}}$	$\frac{P_u}{P_{u(N-1)}}$	$\frac{P_u}{P_{u(N-2)}}$	破壊状況
N-1	1.42(中央)	1.80	1.00	0.48	1.00	0.60	圧縮破壊(中央)
N-2	2.90(中央)	3.00	2.07	1.00	1.67	1.00	圧縮破壊(中央)
N-3	2.60(中央)	2.98	1.86	0.90	1.66	0.99	圧縮破壊(起点)
J-1	1.58(起点)	1.93	1.13	0.54	1.07	0.64	せん断圧縮破壊(起点)
J-2	2.08(起点)	2.21	1.49	0.72	1.23	0.74	せん断圧縮破壊(起点)
J-3	2.65(起点)	2.82	1.89	0.91	1.57	0.94	せん断圧縮破壊(起点)
J-4	2.90(中央)	2.95	2.07	1.00	1.64	0.98	圧縮破壊(中央)

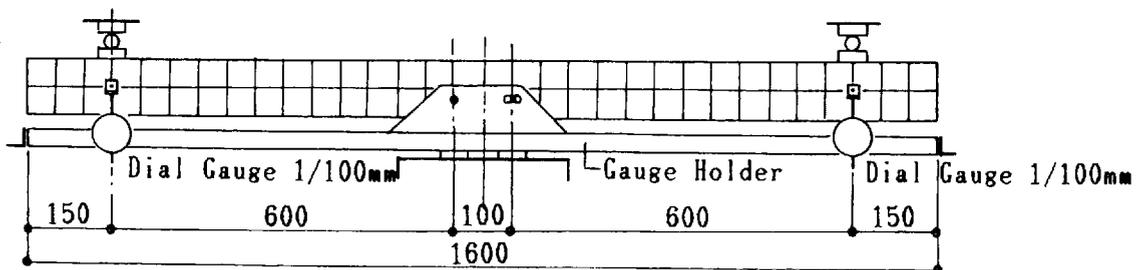
※ () 内は降伏位置および破壊位置を各々示す。



(a) 連続配筋体 (N-1, N-2, N-3)

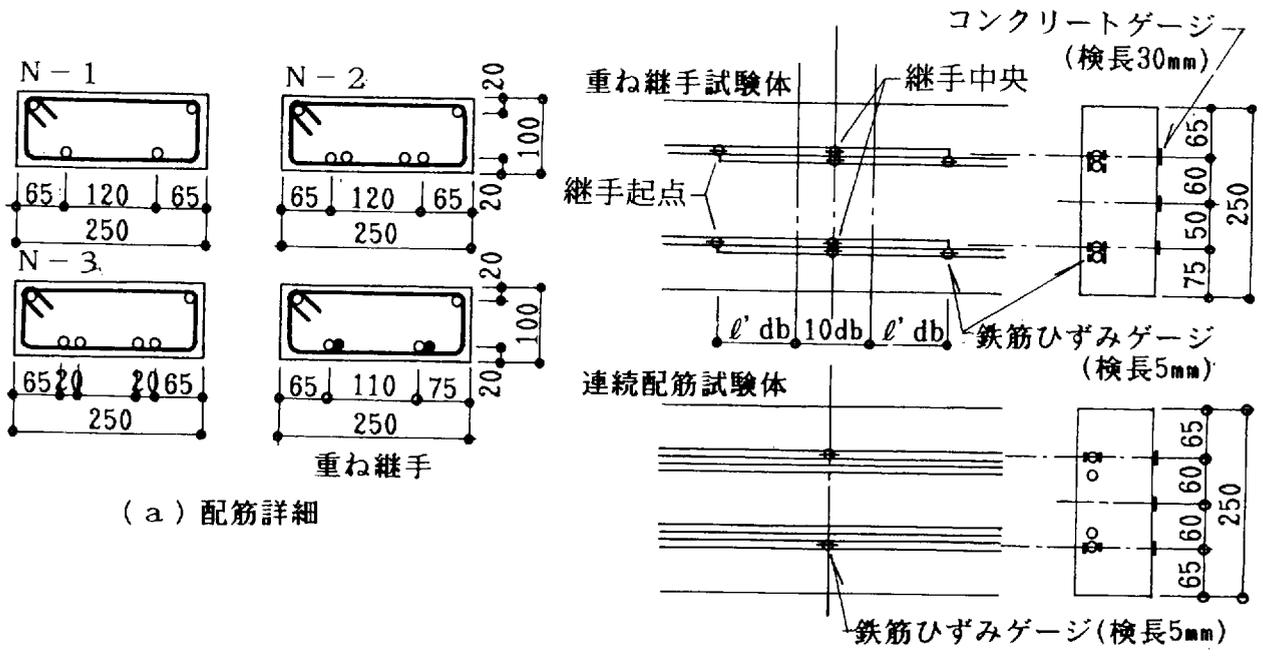


(b) 重ね継手試験体 (J-1, J-2, J-3, J-4)



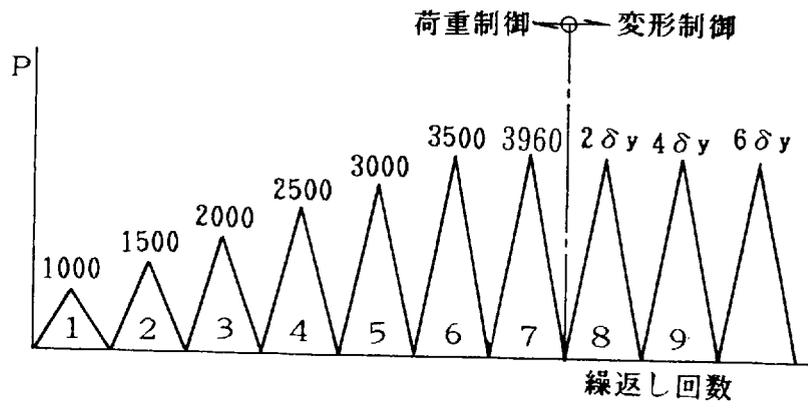
(c) 加力及び測定装置

図 III. 2. 2 試験体詳細図



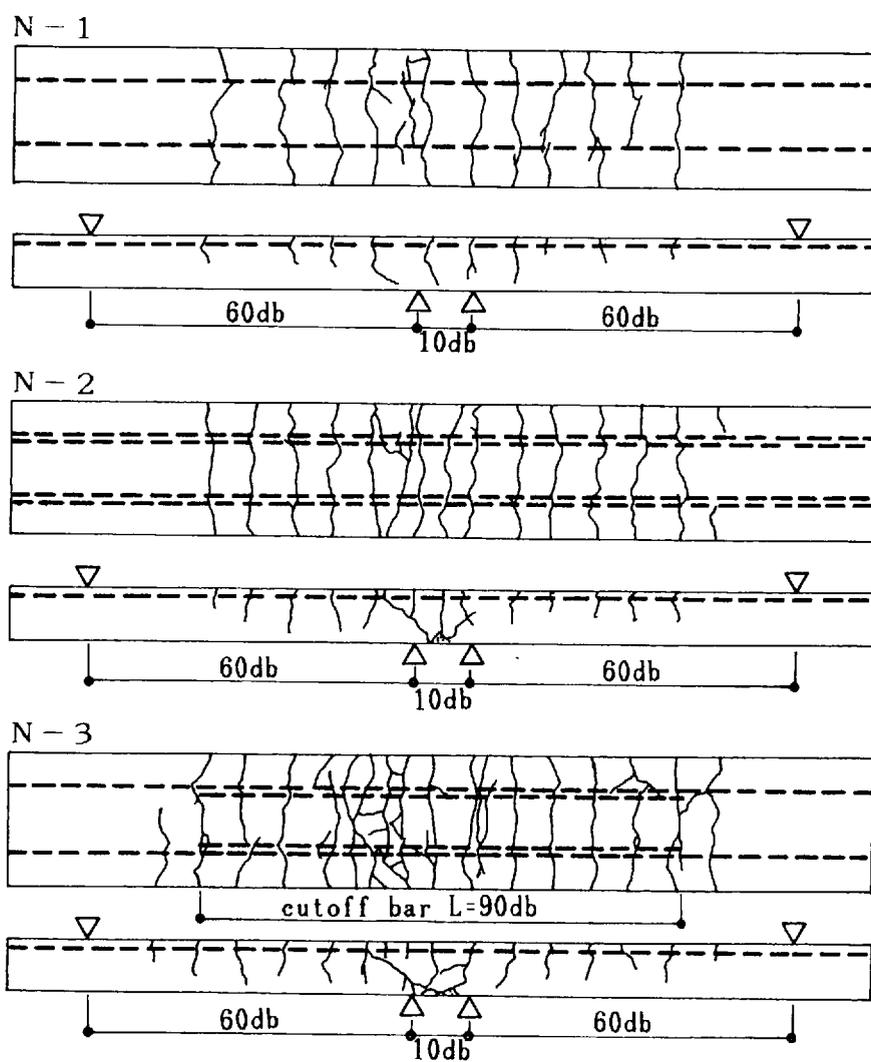
(a) 配筋詳細

(b) ひずみゲージ位置



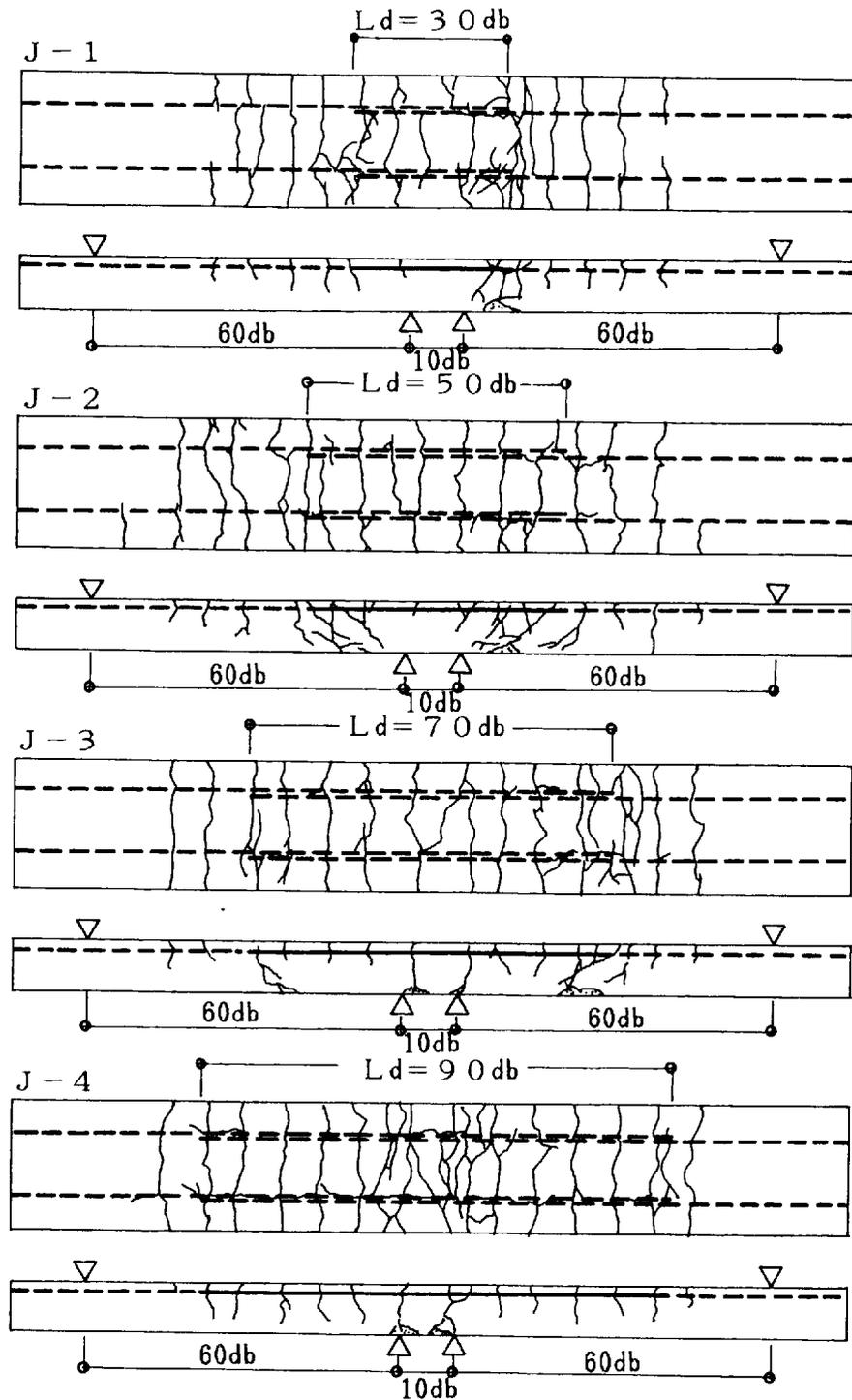
(c) 載荷履歴

図 III. 2. 3



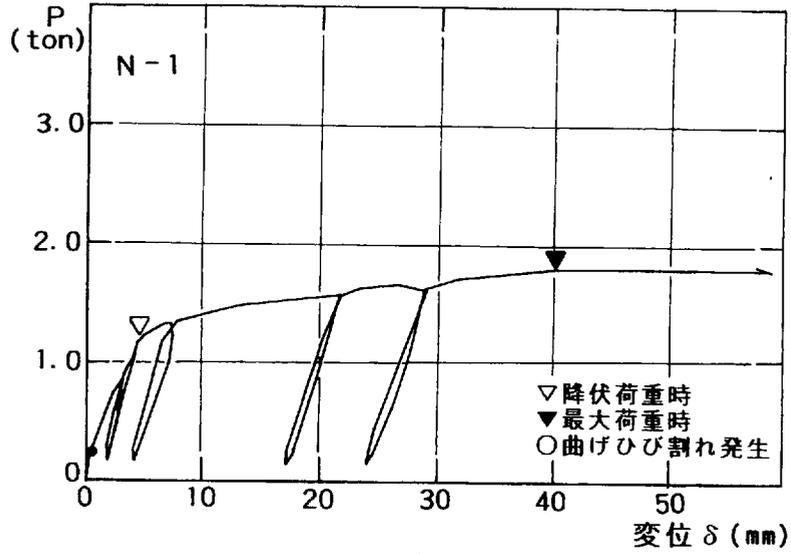
(a) 連続配筋試験体

図 III. 2. 4 破壊状況-1

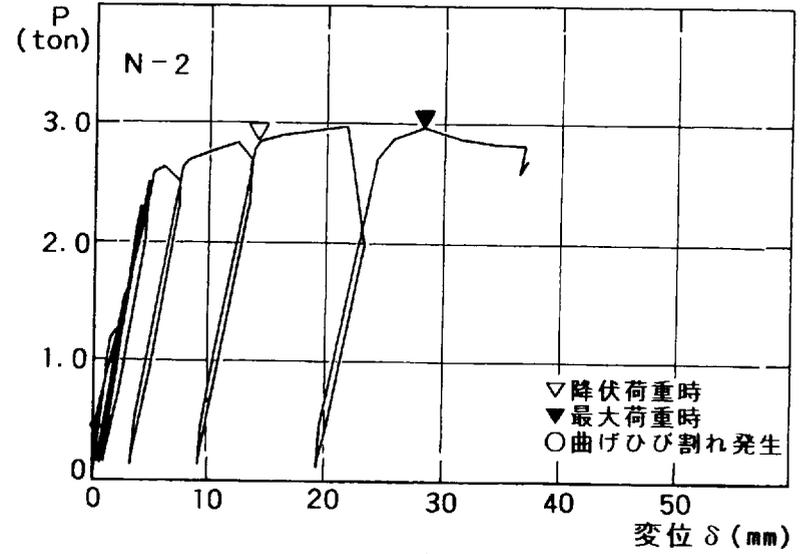


(b) 重ね継手試験体

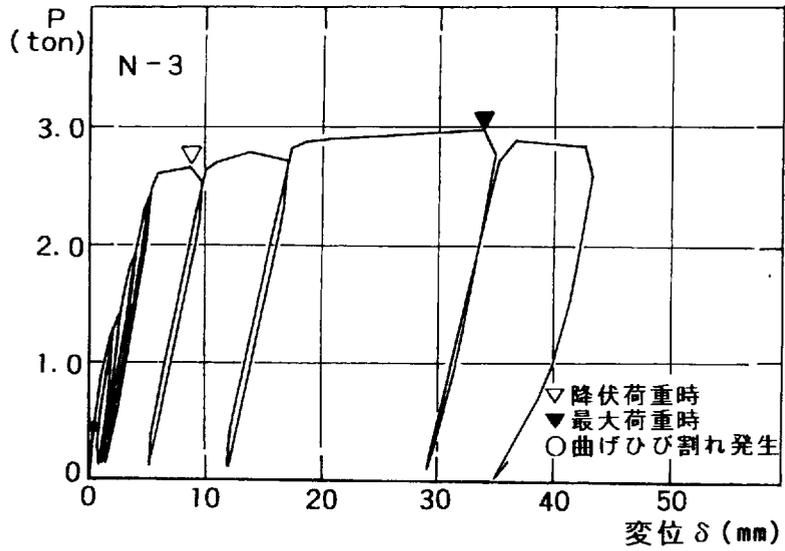
図 III. 2. 4 破壊状況-2



(a)

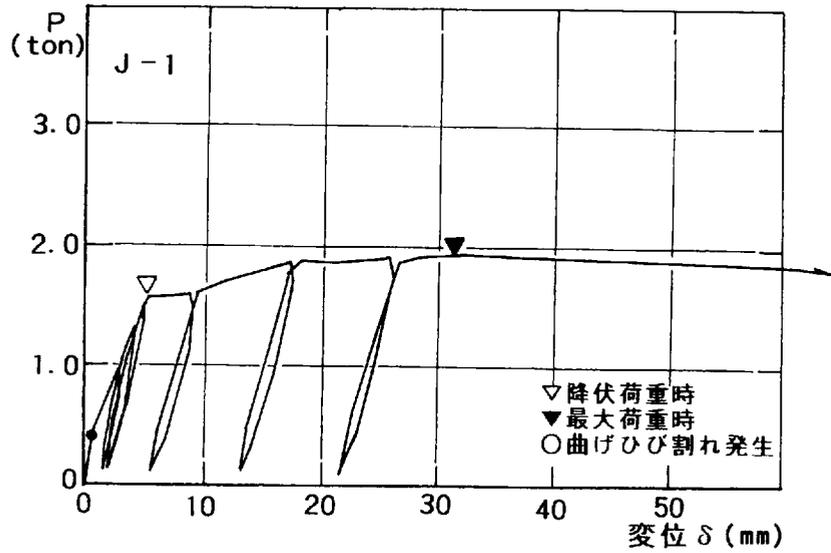


(b)

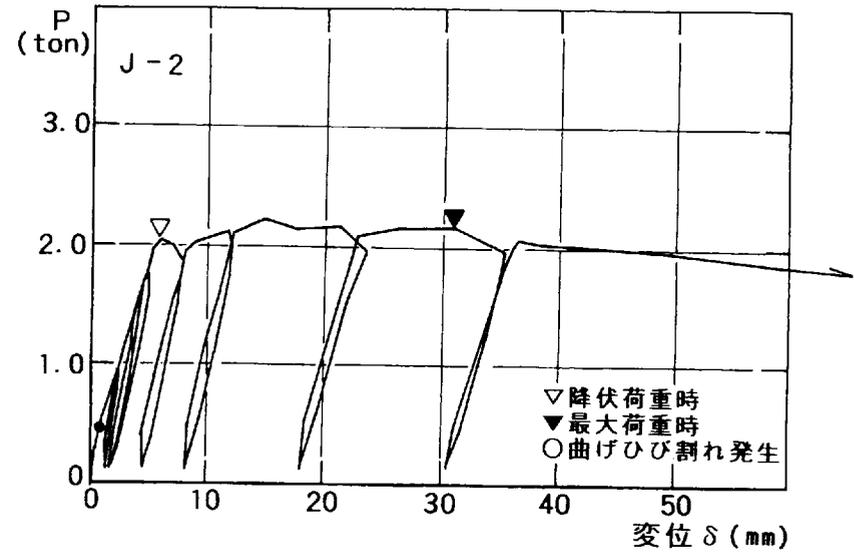


(c)

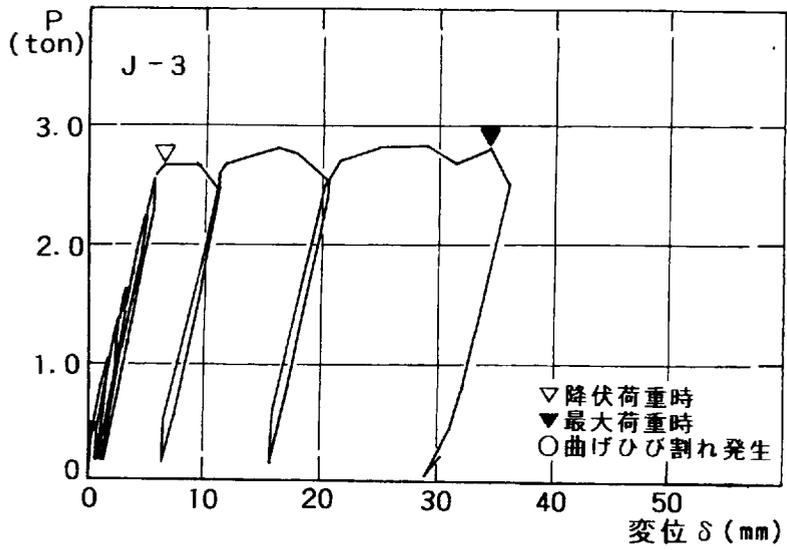
図 III. 2. 5 荷重 - 変位関係-1



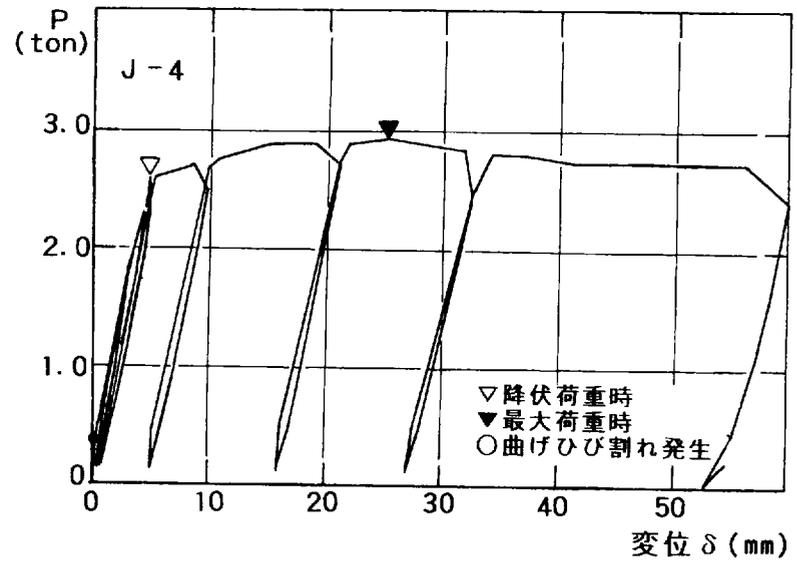
(d)



(e)



(f)



(g)

図 III. 2. 5 荷重 - 変位関係-2

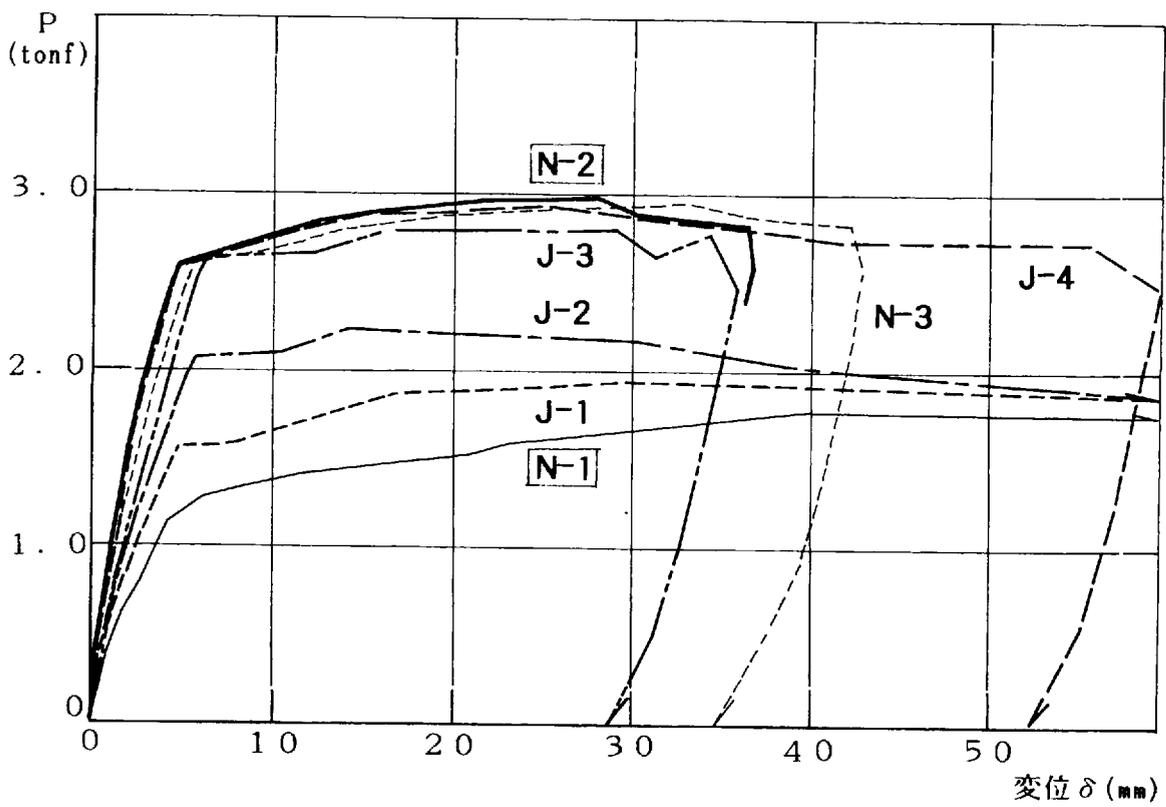
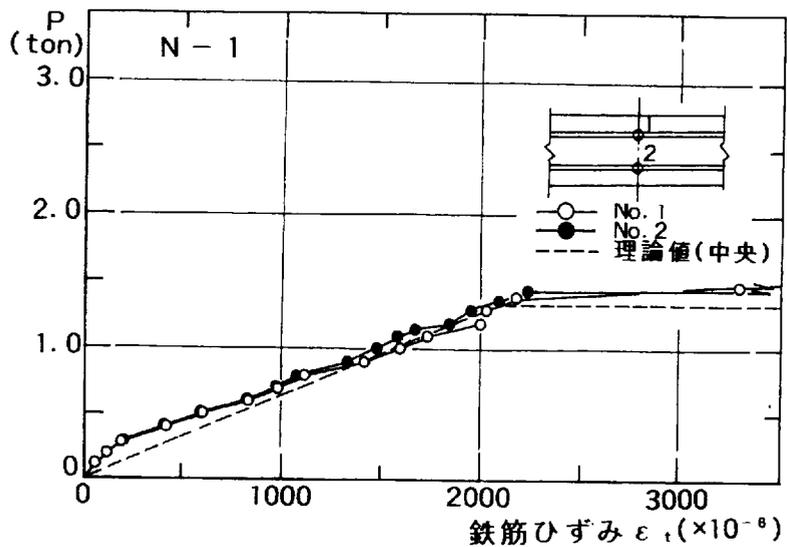
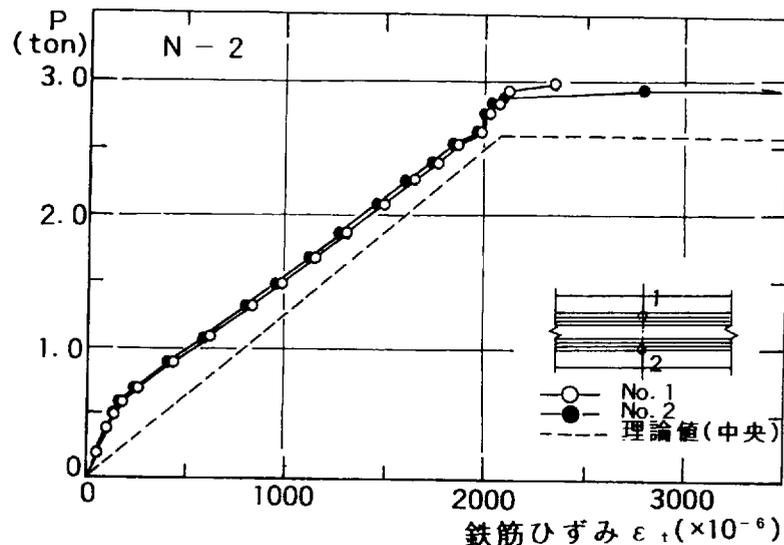


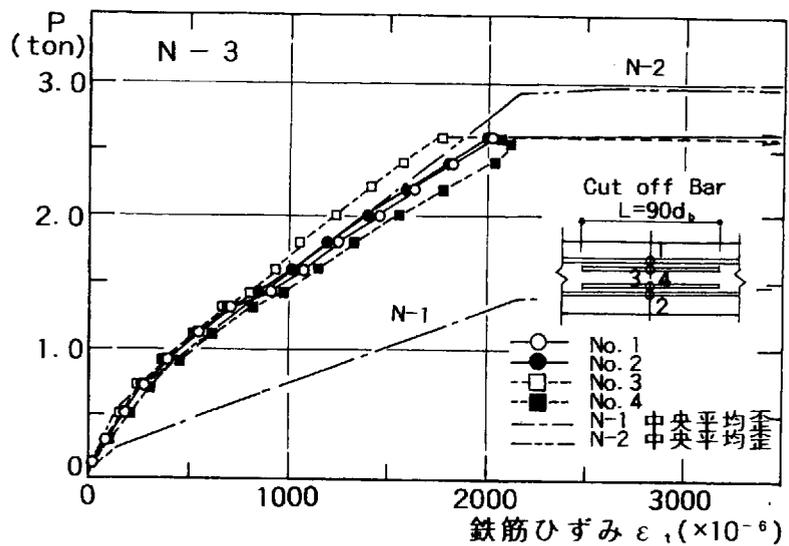
図 III.2.6 P - δ 包絡線



(a)

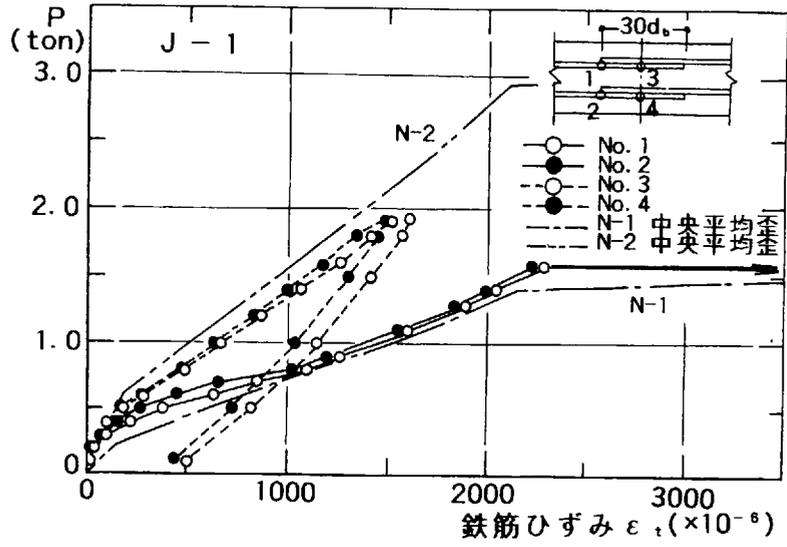


(b)

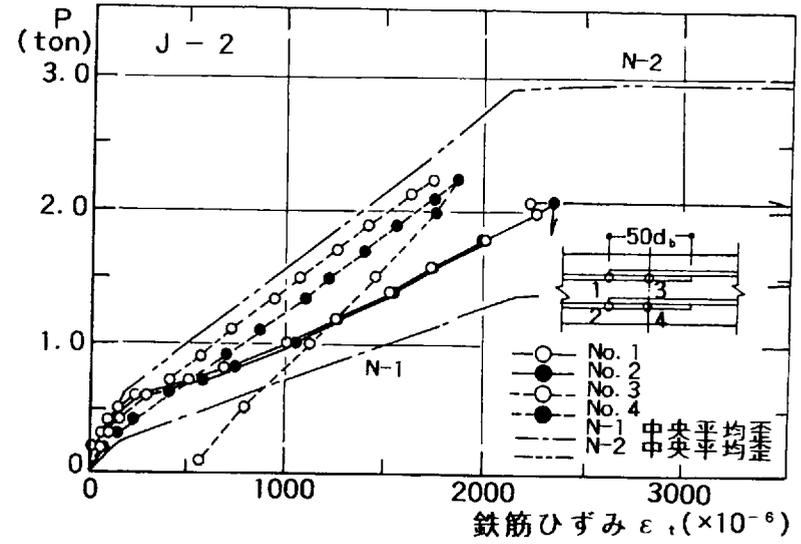


(c)

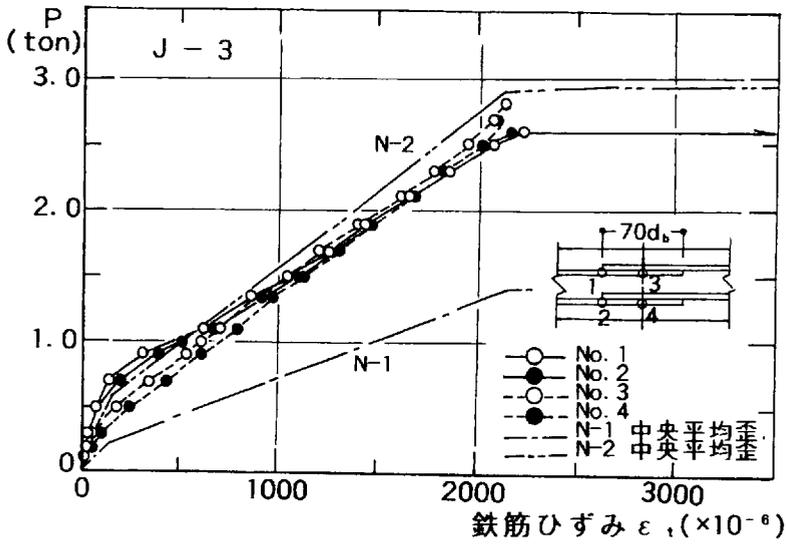
図 III. 2. 7 荷重 - 鉄筋歪関係 - 1



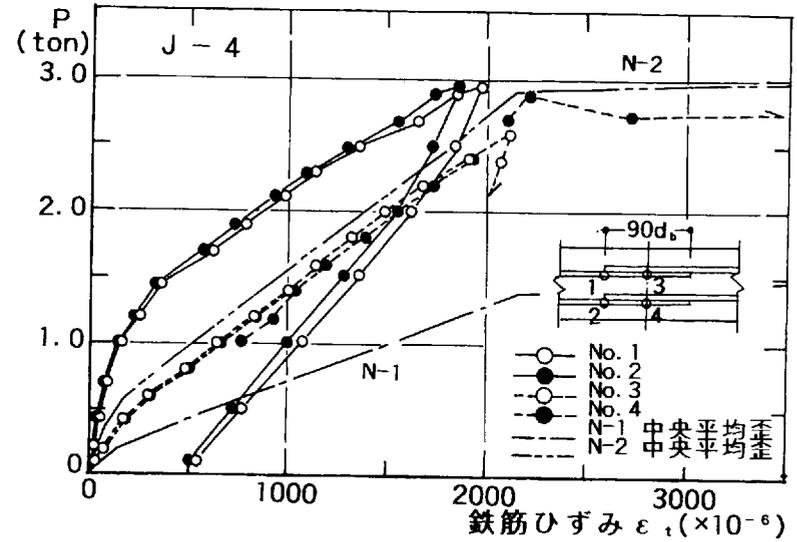
(d)



(e)



(f)



(g)

図 III. 2. 7 荷重 - 鉄筋歪関係-2

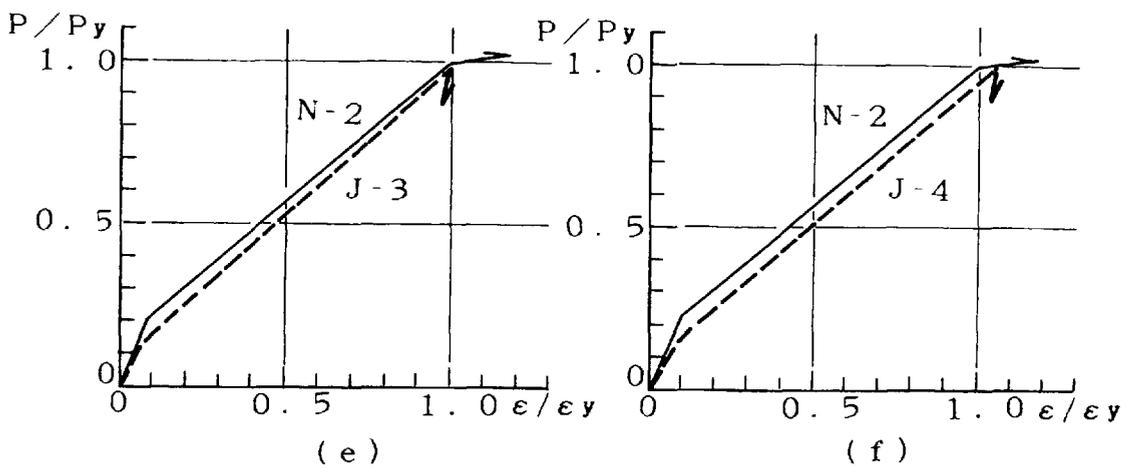
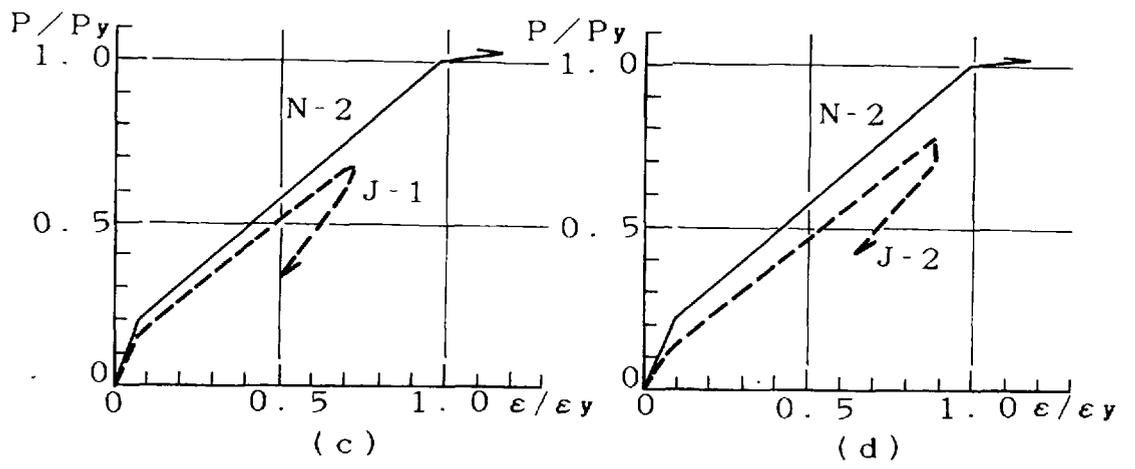
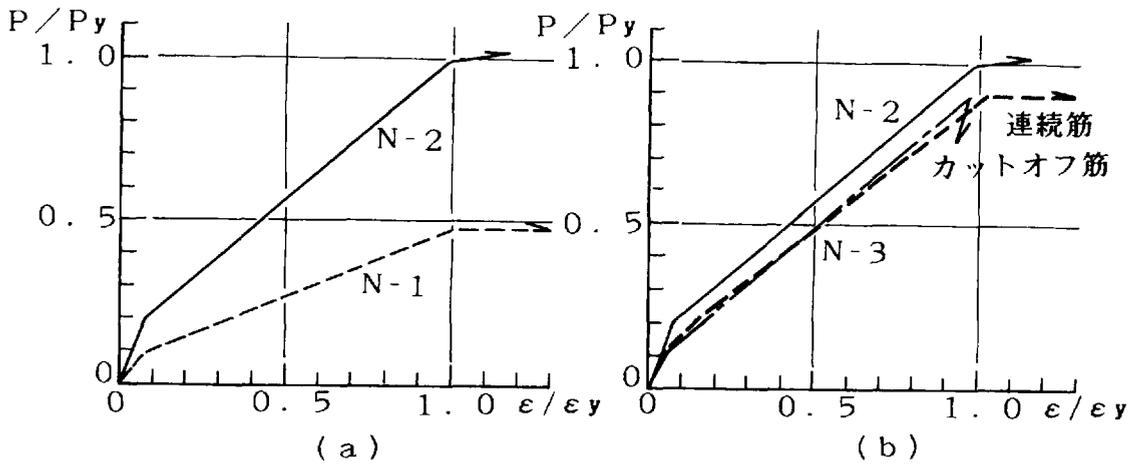


図 III. 2.8 $P/P_y - \epsilon/\epsilon_y$ 関係

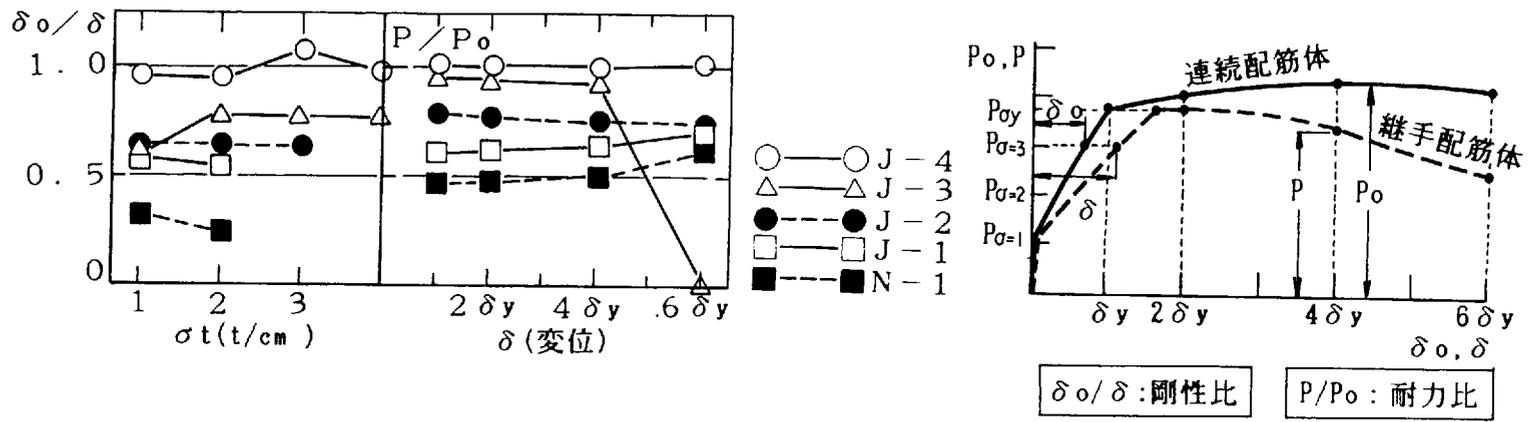


图 III.2.9 剛性比 · 耐力比

2.2 シリーズII

2.1のシリーズIでは、各種重ね長さにおける重ね継手の性能（耐力、剛性）を見るために、付着に有利な条件として、コンクリート打設時に下端で、かつ付着およびせん断に対して十分な補強とした閉鎖型スターラップ型補強の場合について調べ、その結果、鉄筋2本分の性能を持つ重ね継手長さとしては $70d_b \sim 90d_b$ (d_b :鉄筋径)が得られた。本研究の対象はスラブ固定端の上端筋に設ける重ね継手であり、したがってコンクリート打設に関して付着強度が弱い上に、ばらつきも大きく、更に付着割裂に対して直交筋の拘束も期待しにくい条件にあると言える。本シリーズIIではシリーズIの結果を踏まえて、継手部のせん断力の影響、直交筋の位置の影響（直交筋が内側か、外側か）などを含め、下記の諸因子について検討を加えることとした。

- (1) 付着割裂強度に影響があると思われる継手鉄筋に対する面外拘束として、スターラップ型補強、直交筋外側、直交筋内側の3種
- (2) 重ね継手域のせん断応力の大小および継手起点の曲げモーメントの大小の影響として、せん断スパンを50cm、40cm($a/D=5,4$ -ここにD:全せい)の2種
- (3) 重ね継手部がコンクリート打設時に上端配置か、下端配置かの2種

これらの要因は、それぞれ実験計画において組み合わされており、表III.2.5の試験体一覧に示す通りである。

2.2.1 試験体種別

試験体は連続スラブ固定端（中間支点）を模して、継手の中心位置が最大応力状態となるような荷重状態とするために、中央 $10d_b$ (d_b :主筋径)を支持点に、支持点より左右 $50d_b$ 、 $40d_b$ の2種類のせん断スパンを加力点とした2点集中載荷の板状はり型部材を用いた。試験体断面は、 $b \times D=25 \times 10\text{cm}$ (有効せいは直交筋の位置により8cmあるいは7cm)、引張鉄筋および圧縮鉄筋は2-D 10とし、連続筋との同等性を比較するための連続配筋体では引張鉄筋は4-D 10とする。図III.2.10に試験体の寸法および配筋詳細を、図III.2.11(a)には断面形状を示す。また表III.2.5には試験体一覧を示す。

重ね継手試験体は、せん断スパン $50d_b$ および $40d_b$ の供試体においては、支持点

幅 $10d_b$ の左右にそれぞれ $25d_b$ 、 $30d_b$ 、 $35d_b$ の定着とした重ね長さ $60d_b$ 、 $70d_b$ 、 $80d_b$ の全数継手を設けた重ね継手試験体と、比較用に継手を設けない4-D 10の連続配筋体とした。全シリーズとも重ね継手相互の間隔は $11cm(11d_b)$ とし、重ね継手は密着水平重ねとした。4-D 10の連続配筋体では、あき d_b をとった2-D 10を継手試験体での一組の継手筋と同位置に配筋して、4-D 10とした。本研究は、鉄筋コンクリートスラブにおける継手を対象とするので、全試験体を通じて継手間の相互のあきおよび側方のあきは、十分に取り（継手間相互の間隔は $11d_b$ 、側方のかぶりは約 $6d_b$ ）、コーナースプリットあるいは側面割裂型の付着破壊は生じないように計画した。試験体の継手域内の横方向の補強は、図Ⅲ.2.11(a)に示すように継手域外と同様の閉鎖型のスターラップ型補強としたP型と、継手域内を直交筋として試験鉄筋と同寸法のD 10を用い、重ね継手鉄筋の内側配筋としたS型および外側配筋としたE型の2種類を準備した。

本研究は、本来スラブ固定端の上端筋の継手を対象にしているが、付着強度の実験的ばらつきを危惧して、ほぼ半数はコンクリート打設時下端配筋として試験体を作成し、一部の供試体において（せん断スパン $50d_b$ の重ね長さ $60d_b$ と $80d_b$ の試験体において）上端筋、下端筋の傾向の相異も実験で確かめた。

2.2.2 使用材料の機械的性質

使用鉄筋は、主筋にSD345のD 10（一部にSD295使用）、スターラップ型補強筋にはSR295の6φを、継手域内の直交筋にはSD345のD 10を用いた。鉄筋の機械的性質を表Ⅲ.2.6に示す。

コンクリートは最大寸法10mmの粗骨材を用いた普通コンクリートとした。コンクリート強度は、 $F_c=300\sim 350\text{kgf/cm}^2$ を目標とし、それぞれの試験体の試験時のコンクリート圧縮強度を表Ⅲ.2.7に示す。

2.2.3 加力および測定方法

加力は図Ⅲ.2.10に示すように重ね継手部が上側になるようにセットし、中央 $10d_b$ 区間を支持点に、各支持点の左右に所定のせん断スパンをとった2点集中載荷とする。載荷は、せん断スパン $50d_b$ 、 $40d_b$ 毎に夫々の連続配筋体の載荷履歴基

準とし、鉄筋応力 ($M=a_t \cdot \sigma_t \cdot j$, $j=7/8 \cdot d$ による計算値 σ_t) が1000、1500、2000、2500、3000、3500、 $\sigma_y=3960\text{kgf/cm}^2$ (一部 3620kgf/cm^2) に相当する荷重で一方向漸増繰り返しの荷重制御とし、その後は夫々の連続配筋体の引張鉄筋降伏時変形 δ_y を基準に $2\delta_y$ 、 $4\delta_y$ 、 $6\delta_y$ で一方向繰り返しの変形制御とした。

測定は各荷重段階毎にはり側面およびはり上面(引張側)のひび割れ進展状況の観察と、図Ⅲ.2.11(b)に示すように継手中央および継手起点の主筋歪、そして中央コンクリート圧縮縁歪をワイヤーストレインゲージ(鉄筋: 検長5 mm、コンクリート: 検長30mm)で、また中央点に対する加力点のたわみをゲージホルダーに取り付けた電動式ダイヤルゲージ(精度1/100mm)でそれぞれ計測を行った。

2.2.4 実験結果および検討

(1) 破壊状況

試験体の最終的破壊状況を図Ⅲ.2.12(a)～(f)に示す。

- 1) 初期曲げひび割れ発生は全試験体共、中央支持点上の引張縁に発生した。
- 2) 重ね長さが $60d_b$ 未満の場合、諸条件(打ち込み時の継手鉄筋位置、横方向筋の種類、せん断スパン)に拘らず継手起点に生じた曲げひび割れは、継手起点位置で鉄筋が降伏すると共にせん断ひび割れへと移行し、継手起点上圧縮域へ大きく進展してせん断圧縮によって破壊した。
- 3) 重ね長さが $70d_b$ 以上の場合には、諸条件に拘らず連続配筋体と同様に、継手中央が降伏し、中央支持点上の曲げひび割れが大きく開口して中央圧縮域が圧壊して最大耐力に達した。
- 4) 重ね継手長さが $60d_b$ の供試体では、重ね継手に沿った縦ひび割れ(最大荷重時に支持点より左右10cm前後の範囲にのみ発生)が発生した。但し、これらのひび割れは何れも直接の破壊原因とならなかった。

(2) 荷重・変位関係

図Ⅲ.2.13(a)には、重ね継手をコンクリート打設時に下端配置としたP型供試体について、図Ⅲ.2.13(b)には重ね継手をコンクリート打設時に上端配置とし、継手域内の補強を直交筋としたS型、E型試験体について、各種長さの重ね継手

の $P - \delta$ 図の包絡線を対応する連続配筋試験体のそれと比較して示した。

図Ⅲ.2.14 には各種長さの重ね継手についての横補強筋位置による比較を、図Ⅲ.2.15 にはせん断スパン $50d_b$ を対象に、最も重ね継手長さの短い 501 シリーズと、最も重ね長さの長い 503 シリーズの S および E 型それぞれにおいて、コンクリート打設時の重ね継手位置による比較を $P - \delta$ 図の包絡線で示した。

以上の諸図に基づいて、 $P - \delta$ 関係に及ぼす諸因子の影響を述べると次のようである。

a) 重ね継手下端筋、スターラップ型補強の場合の重ね長さの影響

図Ⅲ.2.13(a)によれば、せん断スパン $50d_b$ 、 $40d_b$ において、重ね継手長さが $70d_b$ 、 $80d_b$ の供試体では、せん断スパン $40d_b$ に関して変形能にわずかな違いがみられるが、ほぼ 4-D 10 の連続配筋体と同等の剛性、耐力を示した。重ね長さ $60d_b$ の供試体は、せん断スパン $40d_b$ の場合 $4\delta_y$ 時に、せん断スパン $50d_b$ の場合には $6\delta_y$ 時にそれぞれ耐力が大きく低下し、変形能もまた低下した。

b) 重ね継手上端筋、直交筋が外側 (E 型) あるいは内側 (S 型) の場合のせん断スパン、重ね長さの影響

図Ⅲ.2.13(b)によればせん断スパン $50d_b$ においては、S 型では重ね継手長さを問わず 4-D 10 の連続配筋体と同等の剛性が得られるが、E 型では、各継手長さとも支持点上の圧縮域に支持点に沿って試験体を横断する初期曲げひび割れが発生するとともに、連続配筋体より低い剛性を示している。また S 型、E 型の重ね継手長さ $60d_b$ の供試体を除いた重ね長さ $70d_b$ 、 $80d_b$ の供試体は、連続配筋体と同等の変形能が得られた。これに対してせん断スパン $40d_b$ の E、S 型供試体は、4-D 10 の連続配筋体と同等の剛性を示したが、変形能については重ね継手長さ $80d_b$ としたものがほぼ連続配筋体と同等であり、その他は重ね長さが短くなるにしたがって小さくなる傾向を示した。

c) 重ね継手部直交筋の外側 (E 型)、内側 (S 型) の影響

図Ⅲ.2.14 によればせん断スパン $50d_b$ において、重ね長さ $60d_b$ では、コンクリート打設時の鉄筋位置 (上端配置: J-501P['89]、下端配置: J-501P) への影響は変形図にはほとんど見られず、継手部の外側からの拘束効果が示されたものと考えられる。これに対して P 型の供試体と同一の有効せいとし、内側から試験鉄筋

と同径の鉄筋で拘束したS型(J-501S)の場合には、変形能の急激な低下などの影響が見られたことから、重ね長さが短い場合には横補強筋の継手に対する内側からの拘束効果があまりないことが分かる。また同じ有効せいを持つ重ね長さが $70d_b$ 、 $80d_b$ の供試体(J-502P、502S、J-503P、503S)では、重ね継手を外側(P型)および内側(S型)から拘束する横補強筋の効果に差異は認められなかった。これに対して、J-501E、502E、503E(直交筋内側のS型供試体より有効せいが10mm小さく、E型の有効丈はS型、P型の7/8倍)は、剛性、耐力が有効せいの関係でP型、S型の供試体より低くなるものの、変形能力は劣らず、またかぶり厚が増し、継手部を外側から拘束する効果があるものと言える。これらのことは、せん断スパン $40d_b$ においても同様なことが確認された。

d) 鉄筋位置(上端、下端)の影響

図Ⅲ.2.15によればS型およびE型において、 $80d_b$ の重ね継手長さ(J-503シリーズ)ではその鉄筋位置(上端配置、下端配置)による剛性、耐力、変形能への影響はまったく見られなかった。これに対して $60d_b$ の重ね継手長さ(J-501シリーズ)では直交筋が内側、外側配置とした試験体ともに重ね継手部分を上端配置してコンクリート打設したものは、変形能が下端配置したものより小さくなる傾向を示した。これら図Ⅲ.2.14、図Ⅲ.2.15から、短い重ね継手では、コンクリート打設時の鉄筋位置による付着への影響が現れたものと思われる。

(3) 耐 力

表Ⅲ.2.8には各試験体の降伏荷重時、最大荷重時の耐力および対応する4-D10連続配筋体のそれに対する耐力比および破壊形式を示した。表中の破壊形式で、圧縮破壊(中央)とは支持点中央が圧縮破壊したもの、せん断圧縮破壊(起点)とは継手起点の曲げせん断ひび割れによって圧縮域コンクリートが圧縮破壊したものである。

継手試験体の耐力の連続配筋体のそれに対する耐力比に関して、スターラップ型補強筋、直交筋の内・外側、コンクリート打設時における重ね継手の位置等の影響を見ると、せん断スパン $50d_b$ ではP型(打込み時の継手部分は下端配置)およびE型(打込み時の継手部分は上端配置)の供試体では、いずれもそれほど大

きな耐力低下は見られず、重ね継手中央で重ね鉄筋が連続筋と同様なほぼ2本分の効率を示すが、S型（打込み時の継手部分は上端配置）の場合、重ね継手長さが $60d_b$ （後述のように f_a 規定値により定まる長さ）以下の供試体には継手起点上のせん断圧縮破壊を伴った大きな耐力低下が見られた。これに対してせん断スパン $40d_b$ においては、起点上でせん断圧縮破壊を示したJ-401P、J-401S、J-401Eを含めた全ての供試体について、降伏荷重時、最大荷重時耐力に大きな低下はなく、重ね継手中央で重ね鉄筋が連続筋と同様な2本分の性能を発揮した。

（4）荷重・歪関係

各試験体の継手中央および継手起点の鉄筋歪と荷重の関係を最大荷重時まで示したのが図Ⅲ.2.16である。図中には $M=a_s \cdot \sigma_s \cdot j$ ($a_s=2.85\text{cm}^2$ (4-D10)、 $j=7/8d$)より求めた中央点歪の計算値および荷重 P に対する継手起点位置の曲げモーメント M について、 $M=a_s \cdot \sigma_s \cdot j$ ($a_s=1.43\text{cm}^2$ (2-D10)、 $j=7/8d$)より求めた継手起点歪の計算値を P_y まで求めた $P-\varepsilon$ 関係も示した。

図Ⅲ.2.16より継手中央の歪は、ほぼ中央点の計算値に沿って進み、大部分の供試体では降伏歪に達し、更に降伏平坦部に進む。一部の継手長さの短いものは降伏せず、荷重の減少にともない歪は逆戻りする。

一方、継手起点位置の歪は、継手重ね長さがせん断スパンに較べて相対的に短く、継手起点(2-D10)が、継手中央(4-D10)より先に降伏する場合には、ほぼ計算値に沿って進む。継手重ね長さがせん断スパンに較べて相対的に長いその他の場合には計算値と合わない。特に荷重初期にはコンクリートの引張り負担のため計算値より実測歪は小さい。ただし起点に曲げひび割れを生ずると急に歪が進み最大荷重時にはほぼ計算値前後に達する。

つぎに重ね継手中央点にのみ着目し、各試験体の継手中央点歪を対応する連続配筋体の中央点歪と較べて検討したのが図Ⅲ.2.17である。

すなわち、すべて供試体中央断面（継手中央点）では鉄筋が4本存在するので連続配筋体(N-50S、50E、40S、40E)の $P-\varepsilon_s$ 図での P_y 、 ε_{y_s} 点を(1,1)とし、他の試験体の継手中央点の $P-\varepsilon_s$ 曲線をそれぞれ上記の同系列の連続配筋試験体の P_y 、 ε_{y_s} でnormalizeした。これらの図より各継手試験体の継手中央点の鉄筋の σ

- ε の進行状況が連続筋の場合と対比して判断できる。

また各試験体のPmax時の中央点歪より中央点の応力を求め、表Ⅲ.2.9(4)欄に示した。図Ⅲ.2.17 および表Ⅲ.2.9より分かるように、せん断スパン $50d_b$ では重ね長さ $70d_b$ 以上であれば直交筋の内、外側に拘らず重ね継手中央点で $\sigma_t \approx \sigma_y$ を發揮し、またせん断スパン $40d_b$ の重ね長さ $60d_b$ の供試体では直交筋の内、外側共、中央点での歪は降伏歪には至っていないが、耐力は連続配筋体の降伏荷重に達していることが分かる。

(5) 付着応力度

継手中央点の応力が継手末端（鉄筋応力は零）迄の間の付着応力でコンクリートに伝達されるとして、この間の平均付着応力を求めると、表Ⅲ.2.9の(5)、(6)欄の様になる。(7)欄には日本建築学会（以後 AIJ）の鉄筋コンクリート構造計算規準（以後RC規準）による定着・継手長さ用の許容付着応力度（ τ_{fa} ）、 $\tau_{fa} = (9 + \frac{2}{75} F_c) \times 1.5$ を示した。また(5)(6)(7)欄の関係を図Ⅲ.2.18 に示した。表Ⅲ.2.9および図Ⅲ.2.18により τ_{fa} で求められる左右定着長さから決まる重ね継手は、連続筋と同耐力を持たせるための限界に近い事が認められる。換言すれば、左右定着長さの平均付着応力度 τ が短期許容付着応力度を超えないような重ね継手が、2本分の連続筋と同耐力をもつ配筋と言える。

(6) 剛性比・耐力比

図Ⅲ.2.19 (a)と(b)に各試験体の対応する4-D 10連続配筋体に対する剛性比と耐力比を示す。剛性比は、各試験体において連続配筋体の $P_0 - \delta_0$ 図を基準に中央点の特定鉄筋応力（ $\sigma_t = 1000, 2000, 3000, 3960$:一部 3620 kgf/cm^2 ）に対する荷重時の継手試験体のたわみとの比 δ_0 / δ であり、また耐力比は連続配筋体の降伏荷重時の変形 δ_y を基準に、 $2\delta_y, 4\delta_y, 6\delta_y$ における耐力の比 P / P_0 である。

せん断スパン $50d_b$ では、P型供試体は重ね長さに拘らず鉄筋応力度が 3000 kgf/cm^2 以降に剛性低下を、S型では、重ね長さが $60d_b$ (J-501S)が剛性、耐力共に低く、E型では相対的に剛性が低いが、耐力上は十分なことが分かる。せん断スパン $40d_b$ では、P型で重ね長さが $60d_b$ (J-401P)の供試体は剛性がやや低く、同重ね

長さのS型では耐力が不十分であると言える。E型では重ね継手長さに拘らず剛性は相対的に低い。また各せん断スパン、各重ね長さに分けて、剛性比、耐力比に関して重ね継手内の横補強筋による比較を行ってみると、図Ⅲ.2.19(b)となる。いずれのせん断スパン、重ね継手長さの場合も、E型供試体は、連続配筋体に比して、剛性が低く不十分であり、重ね長さ $60d_b$ では耐力も不十分なことが示された。

(7) せん断スパンの影響

この研究では2.1節において、せん断スパン $60d_b$ 、本節2.2においてのせん断スパンを $50d_b$ 、 $40d_b$ と3段階に変えている。従って中央支持点上の4-D10の降伏耐力に対するせん断応力度 τ_s は $\tau_s=8.3, 9.1, 11.9\text{kgf/cm}^2$ と、せん断スパンに反比例して高くなる。一方、同じ継手重ね長さであれば、せん断スパンを小さくすると、鉄筋量が半減する継手起点の曲げモーメントは小さく、継手起点の鉄筋の引張応力度 σ_t は小さくなる。すなわちせん断スパンの減少は、 τ_s の増大と σ_t の減少を伴う。またせん断破壊する鉄筋コンクリートはりのせん断強さは、AIJの鉄筋コンクリート終局強度設計指針(1990年)⁸⁾¹⁾によると、本研究の場合、 $a=60d_b, 50d_b, 40d_b$ ($a/d=7.5, 6.25, 5$)に対して、 $\tau_v=21.8, 25.2, 27.8\text{kgf/cm}^2$ であり、上記の τ_s よりかなり高い。

以上より継手中央の曲げ降伏に対応するせん断応力度が、その部材のせん断強さよりかなり低い場合には、この種の重ね継手の耐力に及ぼすせん断スパンの影響はないと言えそうであるが、重ね長さ $60d_b$ 以下の供試体については、起点上のせん断圧縮破壊を呈して最大耐力に達したことから、鉄筋降伏後の靱性にやや欠けると言え、せん断スパンの影響については一概に述べることができない。しかし本論文のようなせん断スパンが $50d_b, 60d_b$ のように曲げが卓越したものには影響がないと言えよう。一方、重ね長さに較べ、相対的にせん断スパンが長すぎ、継手起点(鉄筋量が中央の $1/2$)の応力が継手中央より高く、継手起点の降伏が継手中央より先行することは、本研究で対象とする継手を成立させない事になるので左右定着長さは、少なくともせん断スパン(連続スラブで言えばほぼ反曲点とスラブ固定端の間の長さ)の $1/2$ 以上である事も不可欠である。

2.2.5 結 論

連続スラブ中間固定支持点上に継手の中心を置くように設けた鉄筋の重ね継手（60、70、80 d_b ）について、継手域のせん断力、直交筋の位置（直交筋が内側、外側か）、継手の位置（上端か、下端か）の影響について検討を行った結果、

- 1) 破壊性状においては、重ね長さが70 d_b 以上の場合には諸条件（打込み時の継手位置、直交筋の位置、せん断スパン等）に拘らず連続配筋体と同様に中央圧縮域が圧壊して最大耐力に達した。
- 2) 継手部に対する直交筋の位置の影響、特に直交筋内側は、重ね長さが60 d_b の短い場合には横補強筋の継手に対する内側からの拘束効果には余り期待できない。
- 3) 継手部における見かけの平均付着応力度から、 μ_{fa} で求められる左右定着長さから決まる重ね継手は、連続筋と同耐力を持たせるための限界に近いことが認められた。
- 4) 継手中央の曲げ降伏時荷重に対応するせん断応力度がその部材の本来のせん断強さよりかなり低い場合でも、重ね長さが短い場合には鉄筋降伏後の韌性にやや欠けるものがあり、せん断スパンの影響について一概に言えない。
- 5) 直交筋外側の供試体（E型）は重ね長さに拘らず、連続配筋体に比して、剛性が低く、特に重ね長さ60 d_b では耐力的にも不十分なことが示された。
- 6) 重ね継手が上端に位置した実際に即した場合においても、重ね継手中央で個々の鉄筋に降伏強度（本実験では $\sigma_y \approx 3620$ あるいは 3960kgf/cm^2 ）を発揮させ、連続筋と同様な剛性、耐力を得るためにはAIJの f_a 規定値を用いた定着長さ以上で、かつせん断スパン（連続スラブではM図の反曲点とスラブ固定端の間の長さ）の1/2以上の長さを左右に延ばしておけば良い事が確認された。なお本実験においては、これは70 d_b 以上の重ね長さ（左右定着長さ30 d_b 以上）に相当する。

表III.2.5 試験体一覽

試験体名	スパン	引張主筋	継手域内補強	継手長さ
N-50	50d _b	4-D10	P: スター型 S: 直交筋内側 E: 直交筋外側	継手なし
J-501(U)				60d _b 支持点より左右定着長さ : 25d _b
J-501				60d _b " : 25d _b
J-502				70d _b " : 30d _b
J-503				80d _b " : 35d _b
J-503(U)				80d _b " : 35d _b
N-40				40d _b
J-401	60d _b 支持点より左右定着長さ : 25d _b			
J-402	70d _b " : 30d _b			
J-403	80d _b " : 35d _b			

註) (1)P: スター型補強(2-6φ)-重ね継手部分を上端配置にてコンクリート打設
 (2)S, E: 直交筋(D10@100)を継手鉄筋の内側及び外側に補強-重ね継手部分を上端配置にてコンクリート打設
 (3)J-501(U)、503(U)-重ね継手部分を下端配置にてコンクリート打設

表Ⅲ.2.6 鉄筋の機械的性質

鉄筋	降伏強度 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)	降伏時歪度 (%)
D10(SD345)	3940	5320	0.225
D10(SD295)	3620	5020	0.208
6φ(SR235)	2810	3850	0.201

表Ⅲ.2.7 コンクリートの機械的性質

試 験 体 名		圧縮強度 (kgf/cm ²)	歪度 (%)	ヤング係数 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)
N-50~J-503	Pシリーズ	380	0.21	2.65×10 ⁵	33.0
N-40~J-403		375	0.20	2.60×10 ⁵	29.2
N-50~J-503	Sシリーズ	312	0.19	2.46×10 ⁵	28.7
N-40~J-403	Eシリーズ	354	0.20	2.50×10 ⁵	34.0

表Ⅲ.2.8 実験結果一覽

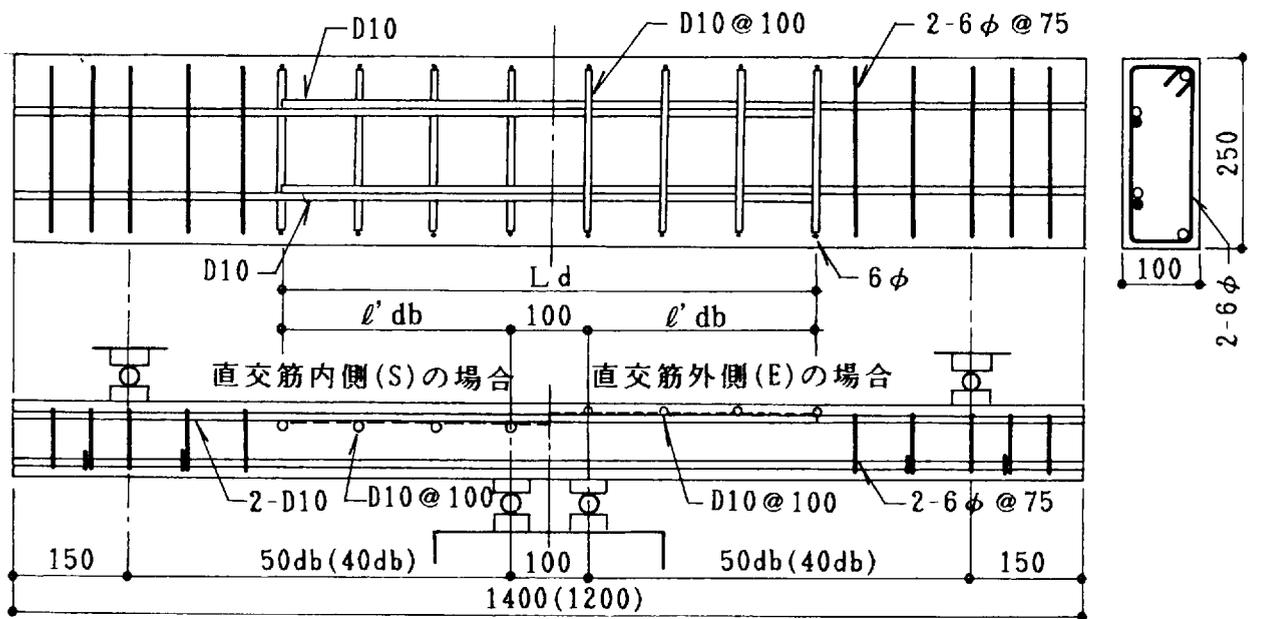
せん断 スパン	試験体名	横補強筋 及び継手 位置	曲げひび 割れ発生 P _c (tonf)	降伏荷重 P _y (tonf)	最大荷重 P _u (tonf)	$\frac{P_y}{\text{連続}P_y}$	$\frac{P_u}{\text{連続}P_u}$	破壊状況
50d。	N-50P	スターラップ型 下端配置	0.80	3.20(中央)	3.46	1.00	1.00	圧縮破壊(中)
	J-501P		0.80	2.80(起点)	3.30	0.88	0.95	せん断圧縮(起)
	J-502P		0.80	3.20(中央)	3.32	1.00	0.96	圧縮破壊(中)
	J-503P		0.70	3.00(中央)	3.32	0.94	0.96	〃
	N-50S	直交筋 (内側) 下端配置	0.60	3.40(中央)	3.45	1.00	1.00	圧縮破壊(中)
	J-501S		0.50	3.07(起点)	3.07	0.90	0.89	せん断圧縮(起)
	J-501SU		0.60	2.90(起点)	3.07	0.85	0.89	〃
	J-502S		0.50	3.20(中起)	3.25	0.94	0.94	圧縮破壊(中)
	J-503S		0.50	3.25(中央)	3.30	0.96	0.96	〃
	J-503SU	0.50	3.10(中央)	3.19	0.91	0.92	〃	
	N-50E	直交筋 (外側) 上端配置	0.60	2.90(中央)	3.00	1.00	1.00	圧縮破壊(中)
	J-501E		0.50	2.50(起点)	2.89	0.86	0.96	せん断圧縮(起)
	J-501EU		0.30	2.50(起点)	2.98	0.86	0.99	〃
	J-502E		0.40	2.60(起点)	2.88	0.90	0.96	圧縮破壊(中)
	J-503E		0.50	2.60(中央)	2.90	0.90	0.97	〃
J-503EU	0.50		2.80(中央)	2.80	0.97	0.93	〃	
40d。	N-40P	スターラップ型 下端配置	1.10	4.16(中央)	4.16	1.00	1.00	圧縮破壊(中)
	J-401P		1.20	4.15(中起)	4.17	0.99	1.00	せん断圧縮(起)
	J-402P		1.00	4.15(中央)	4.17	0.99	1.00	圧縮破壊(中)
	J-403P		0.80	4.15(中央)	4.19	0.99	1.00	〃
	N-40S	直交筋 (内側) 下端配置	0.40	3.70(中央)	3.88	1.00	1.00	圧縮破壊(中)
	J-401S		0.40	3.70(中起)	3.95	1.00	1.02	せん断圧縮(起)
	J-402S		0.50	3.80(中央)	4.15	1.03	1.07	圧縮破壊(中)
	J-403S		0.40	3.70(中央)	4.05	1.00	1.04	〃
	N-40E	直交筋 (外側) 上端配置	0.60	3.40(中央)	3.75	1.00	1.00	圧縮破壊(中)
	J-401E		0.50	3.30(中起)	3.74	0.97	1.00	せん断圧縮(起)
	J-402E		0.50	3.10(中央)	3.74	0.91	1.00	圧縮破壊(中)
	J-403E		0.60	3.35(中央)	3.94	0.97	1.05	〃

註) 1. 圧縮破壊(中)とは中央点圧縮域圧壊による破壊を示す。
 2. せん断圧縮(起)とは起点上の曲げせん断ひび割れによる圧縮域圧壊による破壊を示す。

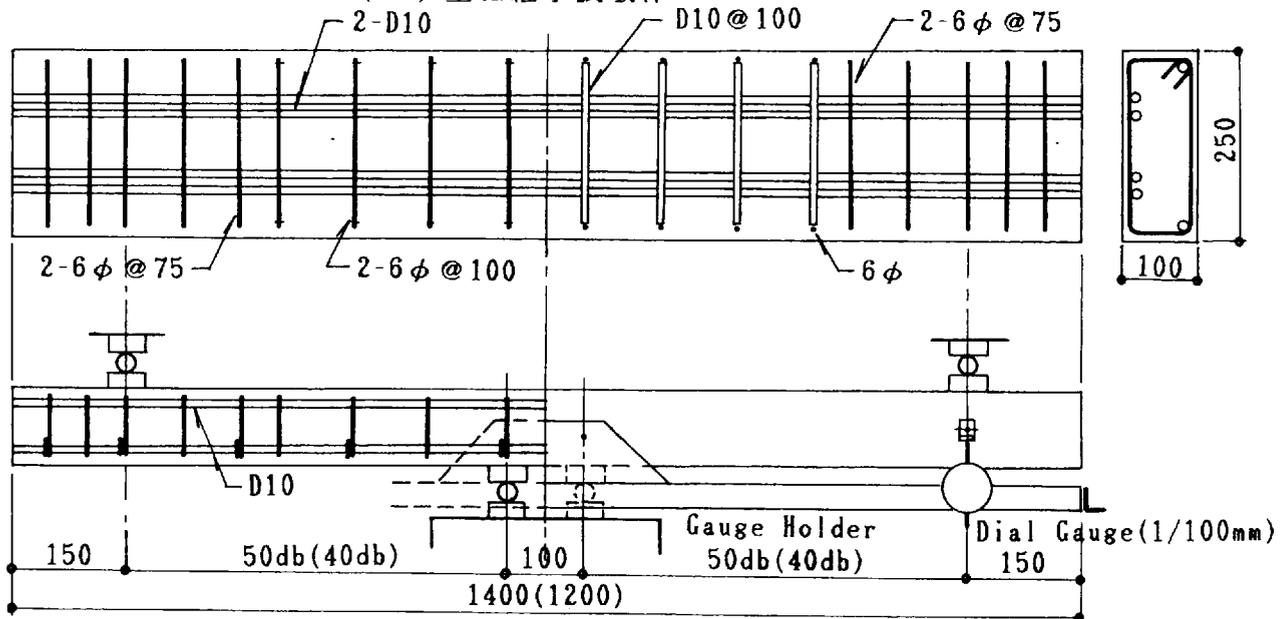
表Ⅲ.2.9 各試験体の最大荷重時における継手中央点の鉄筋応力(σ_s)
および中央点と継手端の間の付着応力(τ)

(1)		(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
試験体名		ε ($\times 10^{-6}$)	$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_y}$	σ_s (kgf/cm ²)	中央点からの 定着長さnd	τ (kgf/cm ²)	fa(Fc) (kgf/cm ²)
N-50P ¹	連続筋 ²	2030	1.00	3930	—	—	28.70 (Fc=380)
J-501P	60d _b	2005	0.99	3890	30d	32.4	
J-502P	70d _b	2030	1.00	3930	35d	28.1	
J-503P	80d _b	2030	1.00	3930	40d	24.6	
N-50S	連続筋 ²	2067	1.00	3620	—	—	25.98 (Fc=312)
J-501S	60d _b	2048	0.99	3586	30d	29.9	
J-501SU	60d _b	2024	0.98	3542	30d	29.5	
J-502S	70d _b	2035	0.98	3564	35d	25.5	
J-503S	80d _b	2067	1.00	3620	40d	22.6	
J-503SU	80d _b	2067	1.00	3620	40d	22.6	
N-50E	連続筋 ²	2245	1.00	3940	—	—	27.66 (Fc=354)
J-501E	60d _b	2021	0.88	3557	30d	29.6	
J-501EU	60d _b	2138	0.95	3763	30d	31.4	
J-502E	70d _b	2197	0.98	3867	35d	27.6	
J-503E	80d _b	2234	1.00	3932	40d	24.6	
J-503EU	80d _b	2245	1.00	3940	40d	24.6	
N-40P	連続筋 ²	2030	1.00	3930	—	—	28.50 (Fc=375)
J-401P	60d _b	1970	0.97	3821	30d	31.8	
J-402P	70d _b	2017	0.99	3912	35d	27.9	
J-403P	80d _b	2030	1.00	3930	40d	24.6	
N-40S	連続筋 ²	2077	1.00	3620	—	—	25.98 (Fc=312)
J-401S	60d _b	1965	0.95	3439	30d	28.7	
J-402S	70d _b	2060	0.99	3588	35d	25.6	
J-403S	80d _b	2077	1.00	3620	40d	22.6	
N-40E	連続筋 ²	2046	1.00	3620	—	—	27.66 (Fc=354)
J-401E	60d _b	1977	0.97	3460	30d	28.8	
J-402E	70d _b	1960	0.96	3467	35d	24.8	
J-403E	80d _b	2046	1.00	3620	40d	22.6	

註) 1. 連続筋¹: 2-D10、連続筋²: 4-D10、連続筋³: 2-D10+2-D10($l=90d_b$ カットワダ)
2. (6)の最大荷重時の付着応力 τ は中央点からの定着長さ($a+100/2mm$)を用いた。



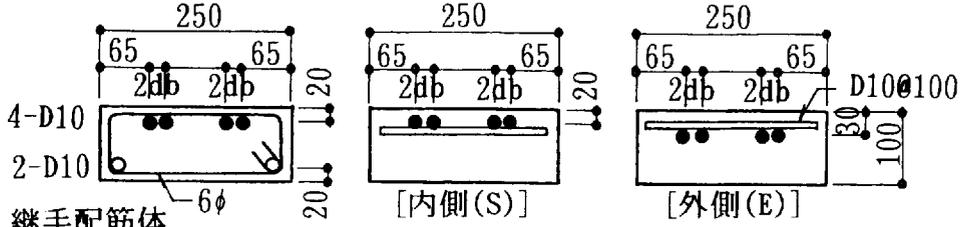
(b) 重ね継手試験体



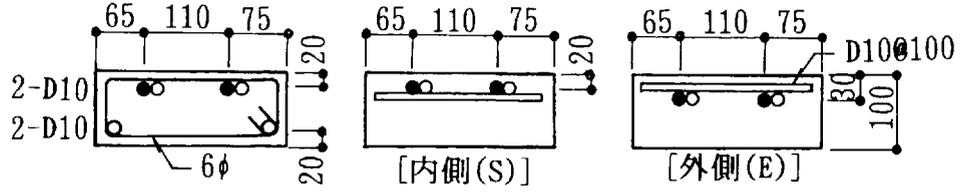
(a) 連続配筋試験体

図Ⅲ.2.10 試験体詳細図

連続配筋体



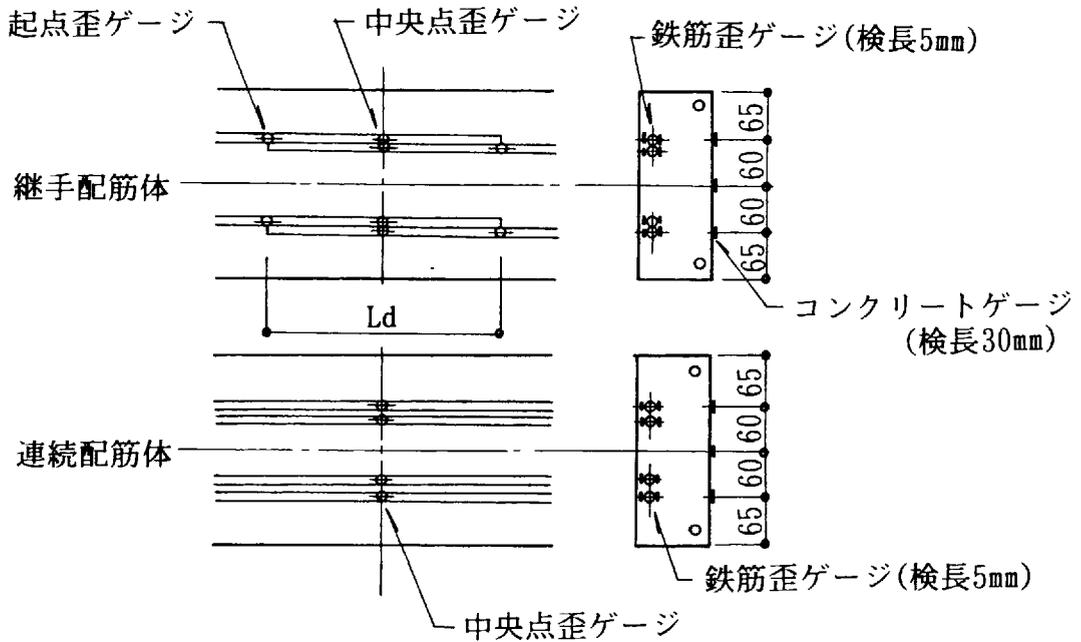
継手配筋体



スターラップ型補強(P型)

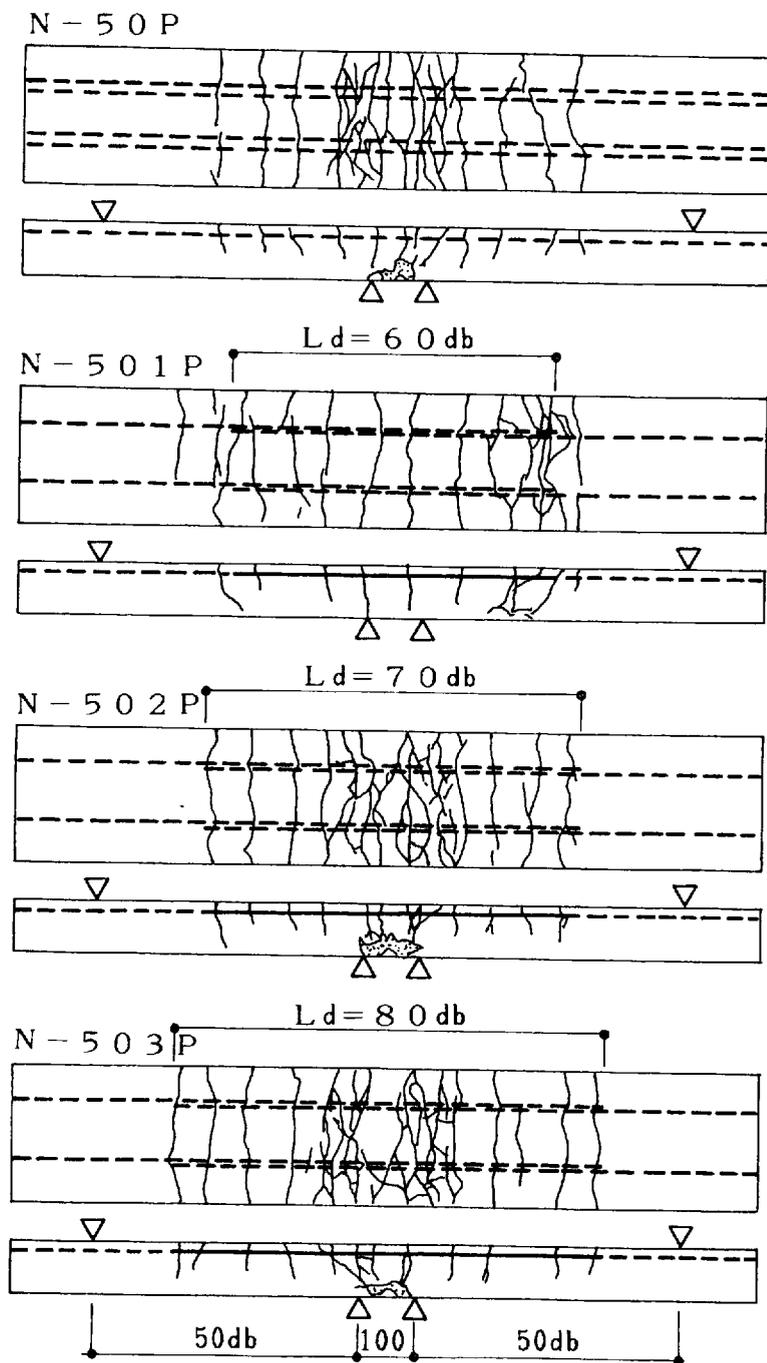
直交筋補強(S,E型)

(a) 断面形状及び配筋形式



(b) 歪ゲージ位置

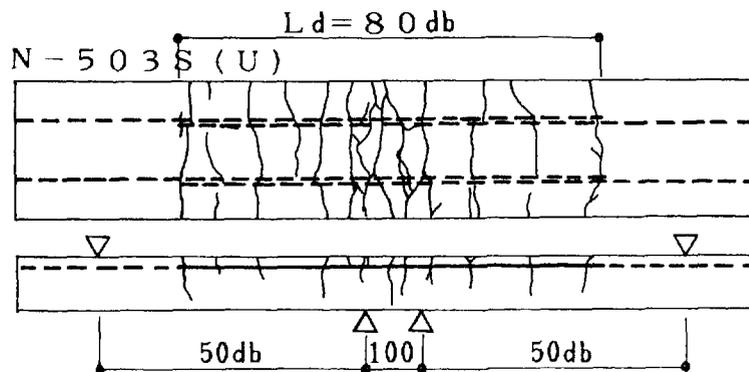
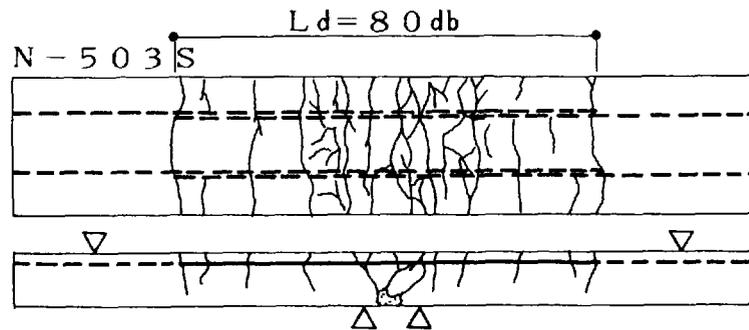
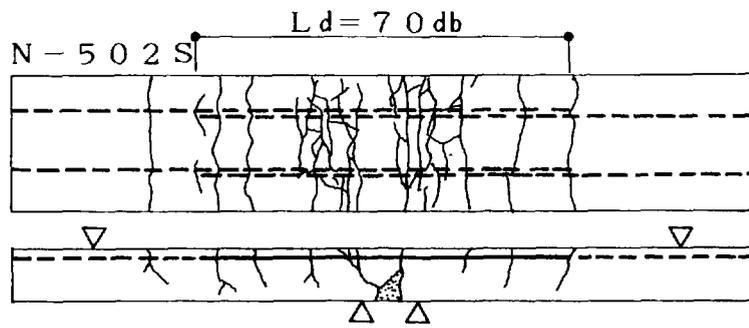
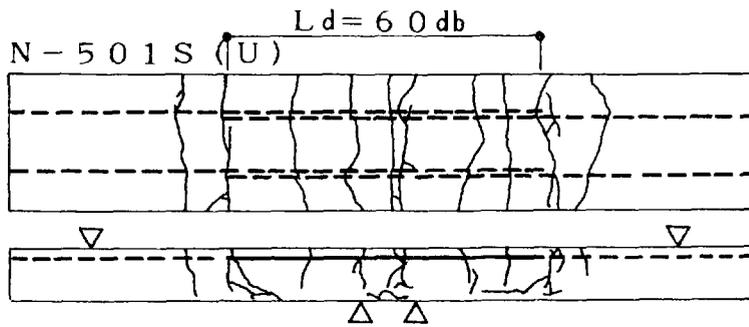
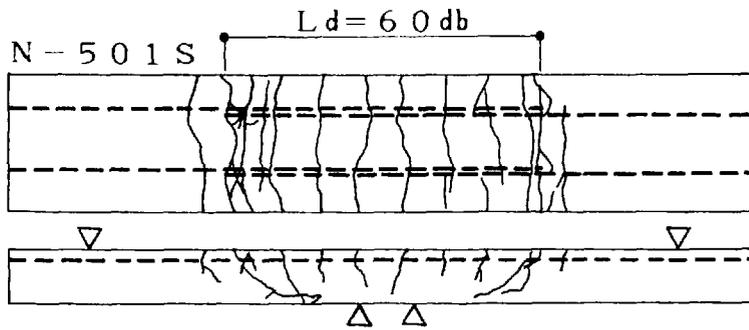
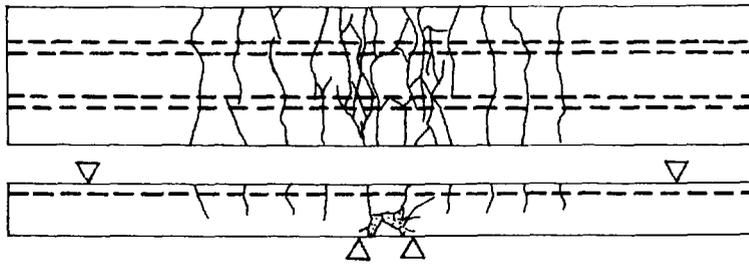
図 III . 2 . 11



(a) スターラップ型 (スパン50db)

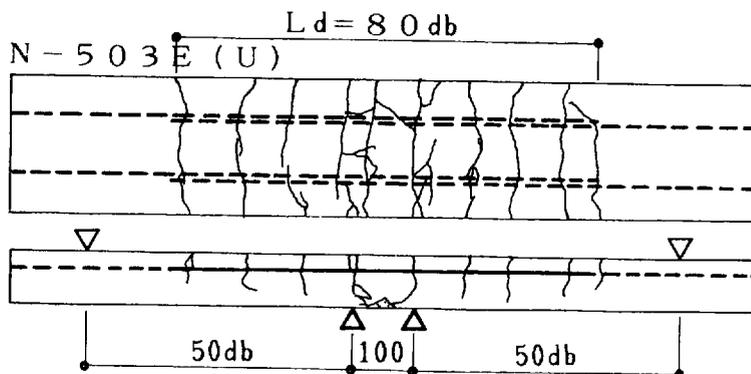
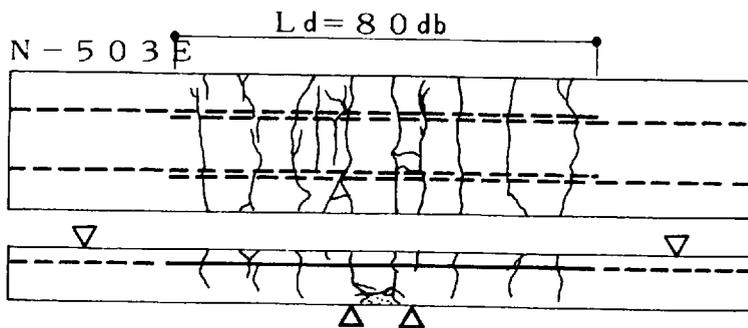
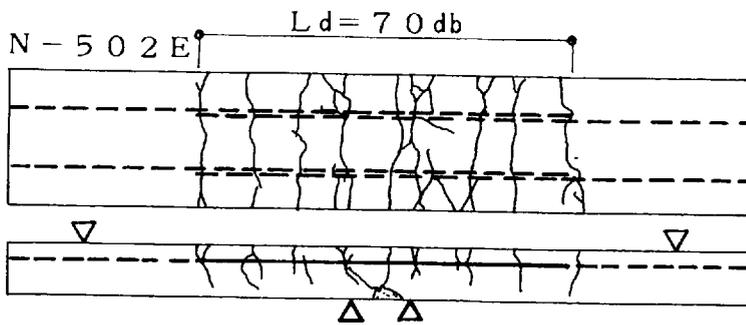
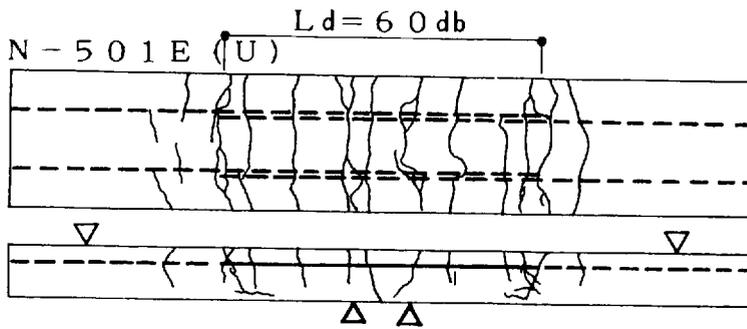
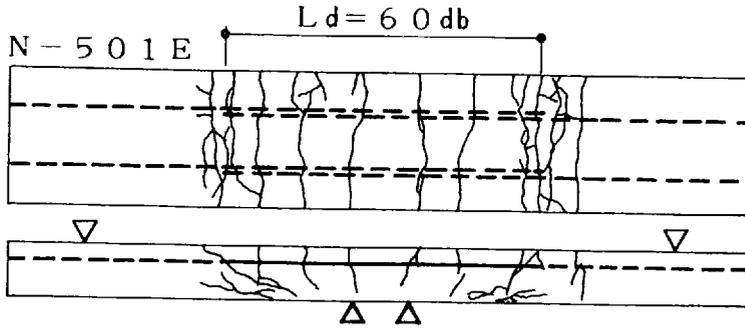
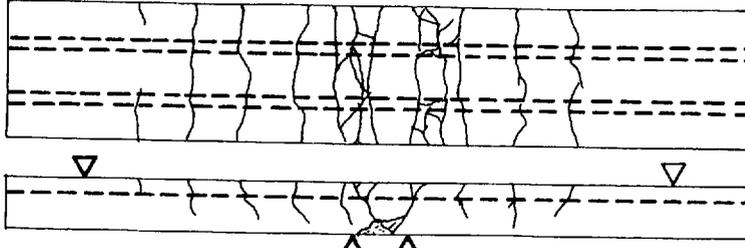
図 III. 2. 12 破壊状況-1

N-50S



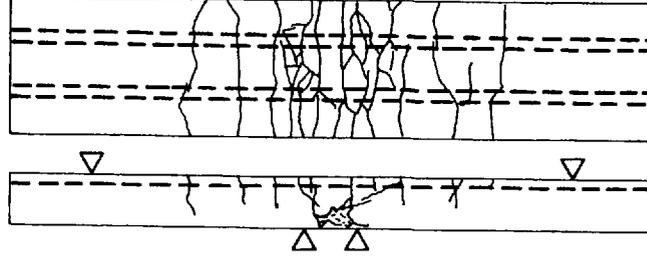
(b) 直交筋内側 (スパン50db)

N-50E



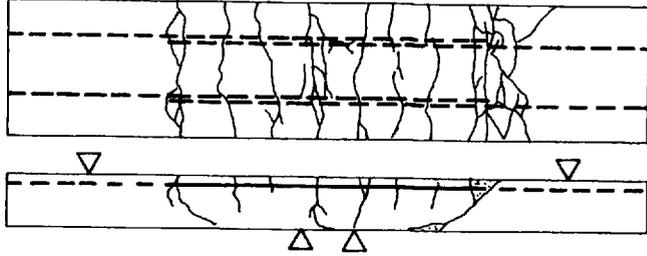
(c) 直交筋外側 (スパン50db)

N-40P



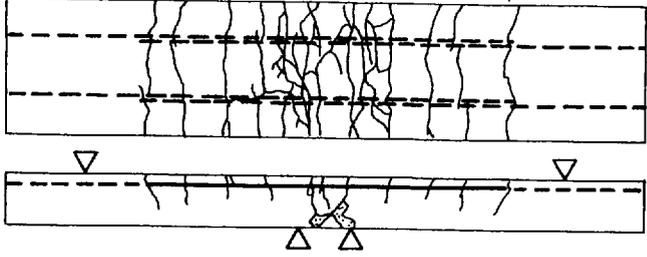
$L_d = 60 \text{ db}$

N-401P



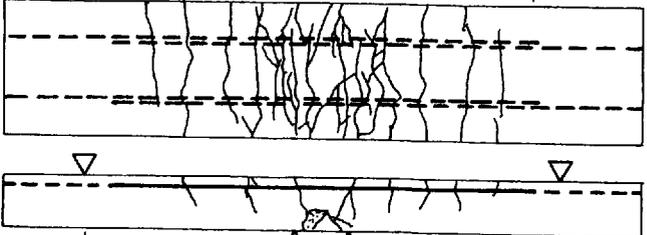
$L_d = 70 \text{ db}$

N-402P



$L_d = 80 \text{ db}$

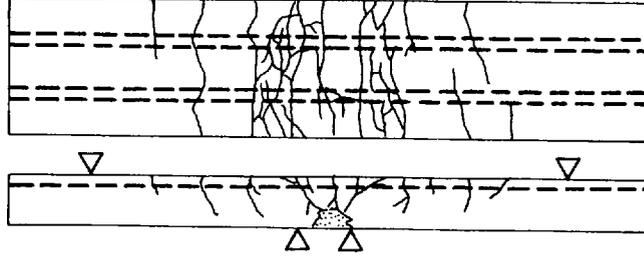
N-403P



40db 100 40db

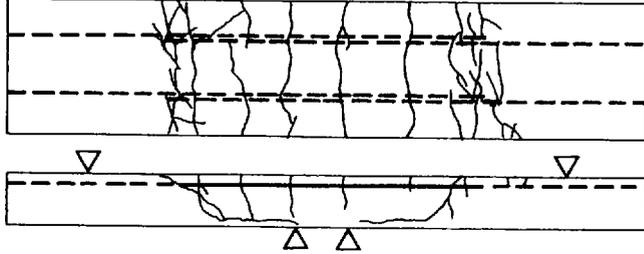
(d) スターラップ型 (スパン40db)

N-40S



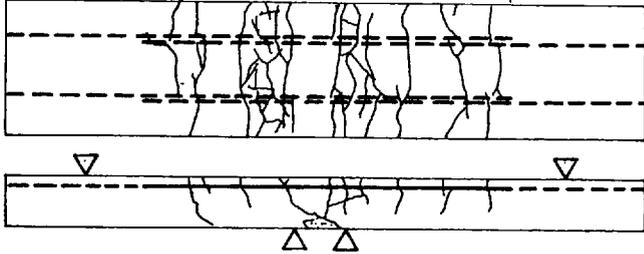
$Ld = 60 db$

N-401S



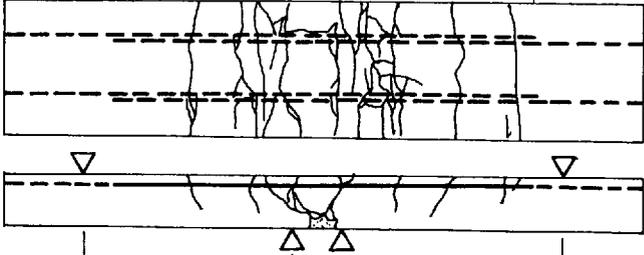
$Ld = 70 db$

N-402S



$Ld = 80 db$

N-403S

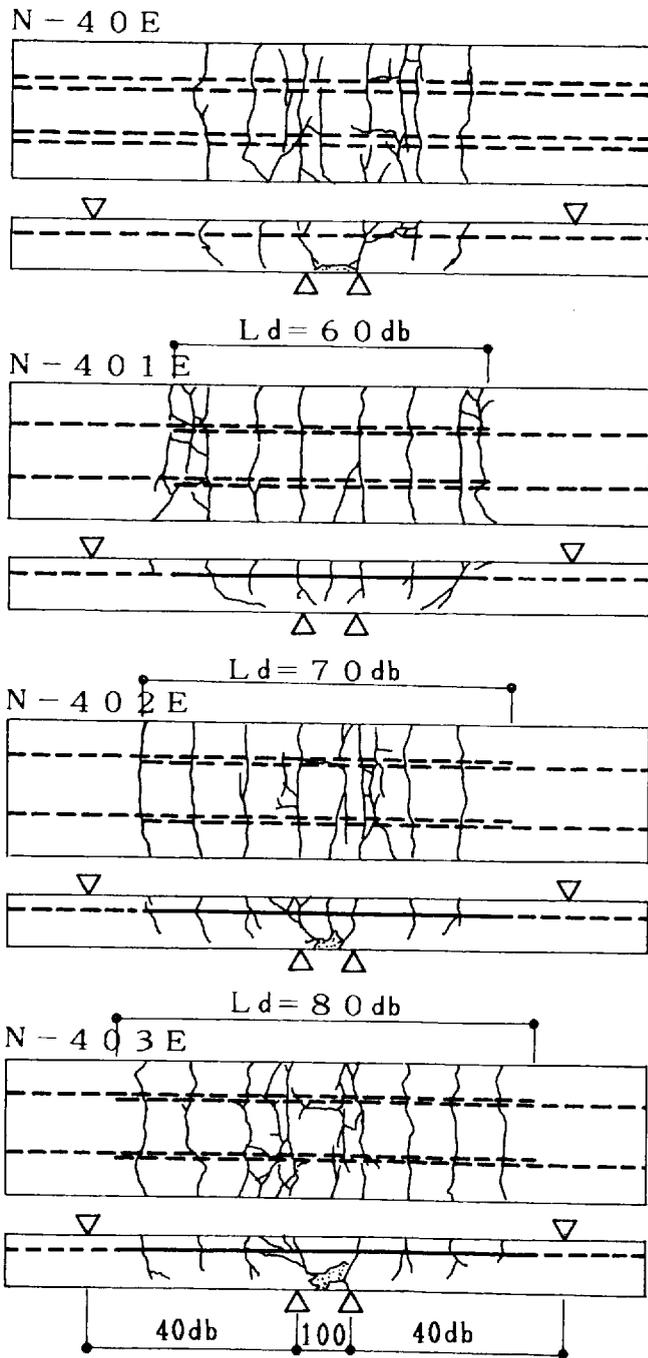


40db

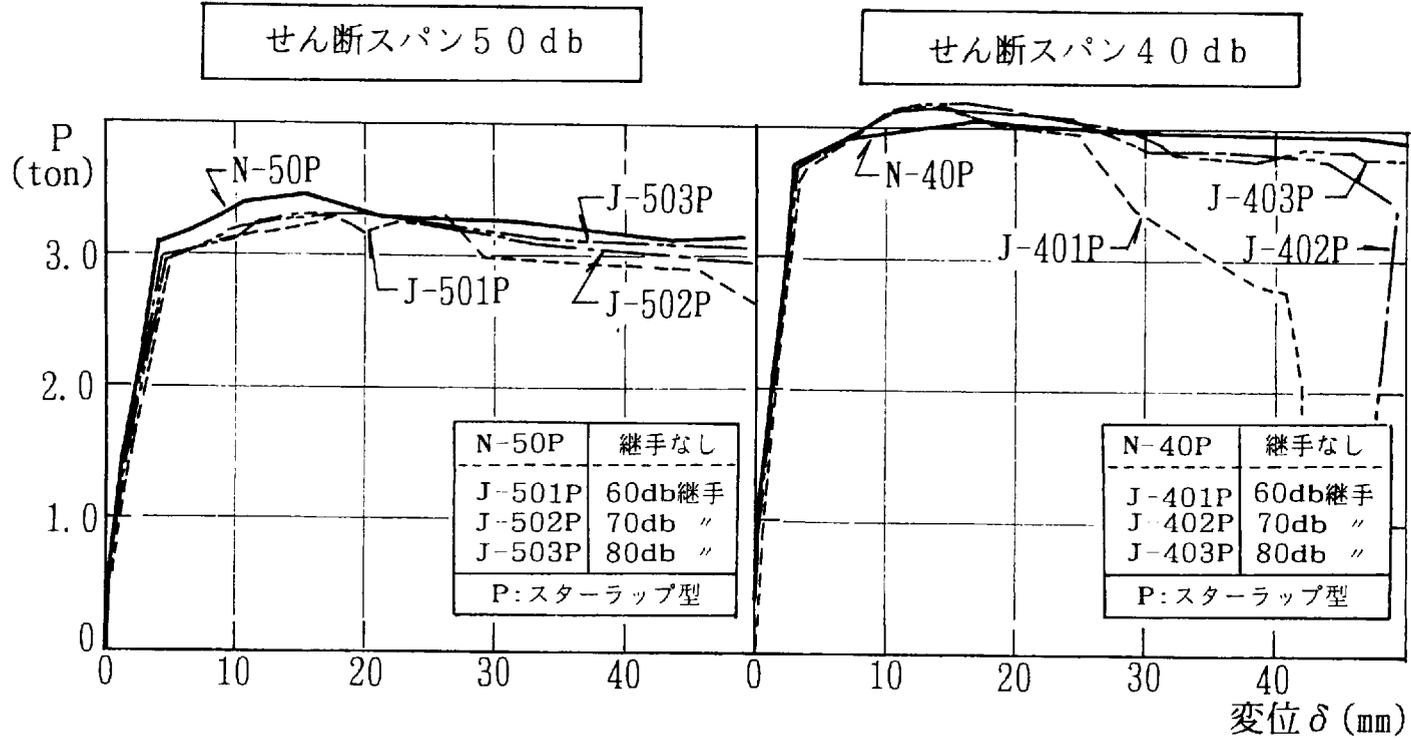
100

40db

(e) 直交筋内側 (スパン40db)

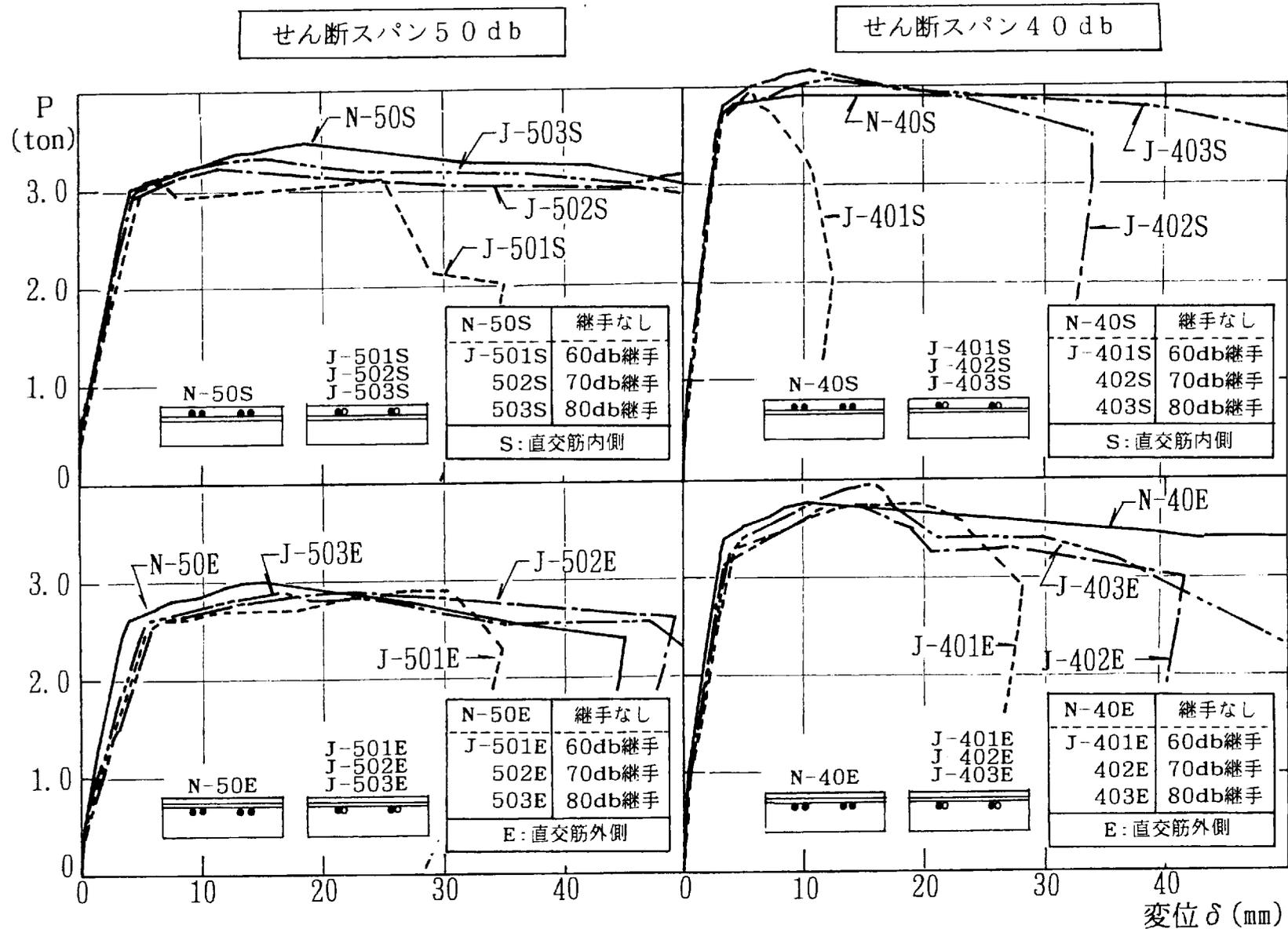


(f) 直交筋外側 (スパン40db)



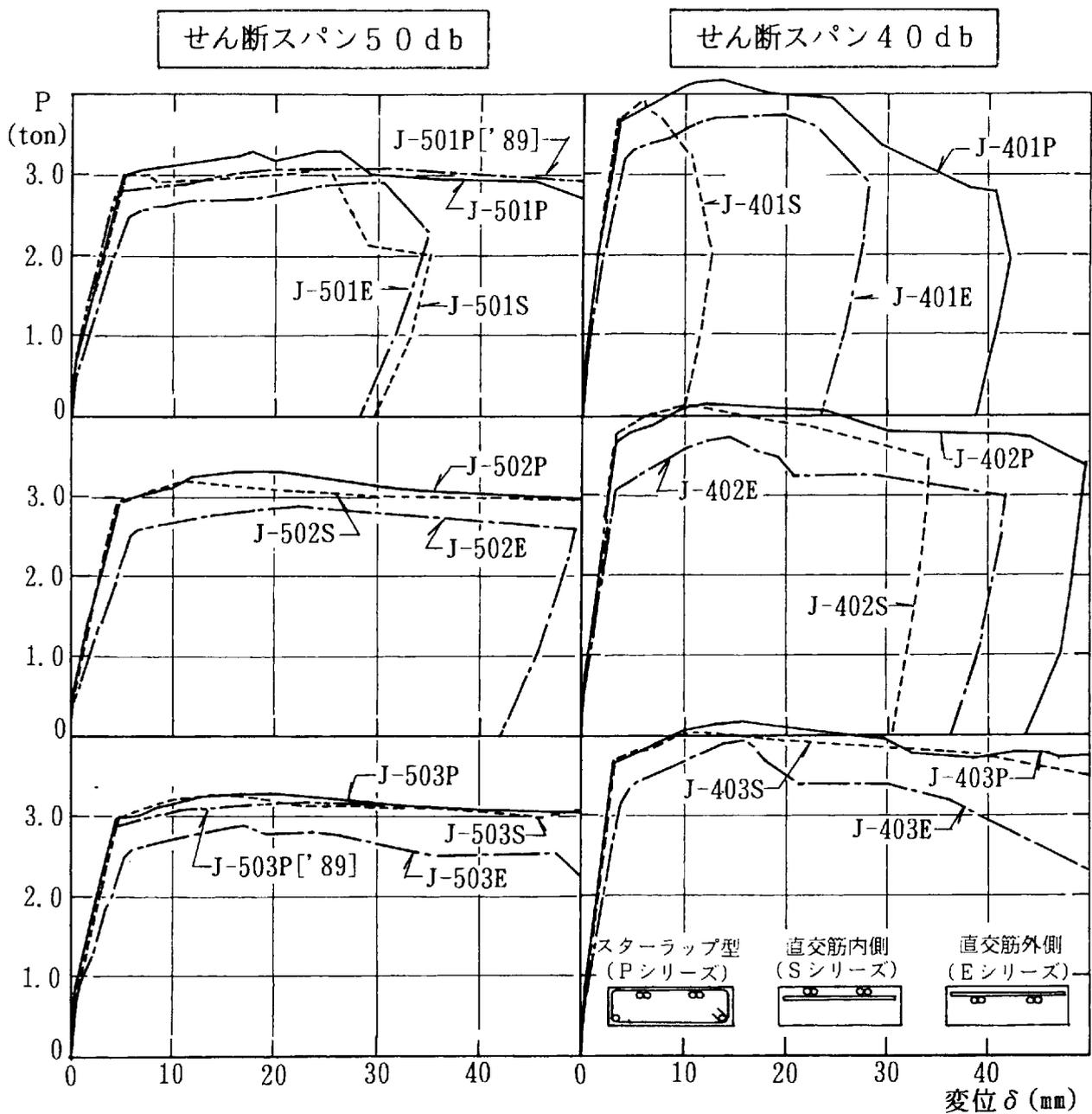
(a) スターラップ型補強(P型)

図Ⅲ.2.13 荷重-変位関係-1



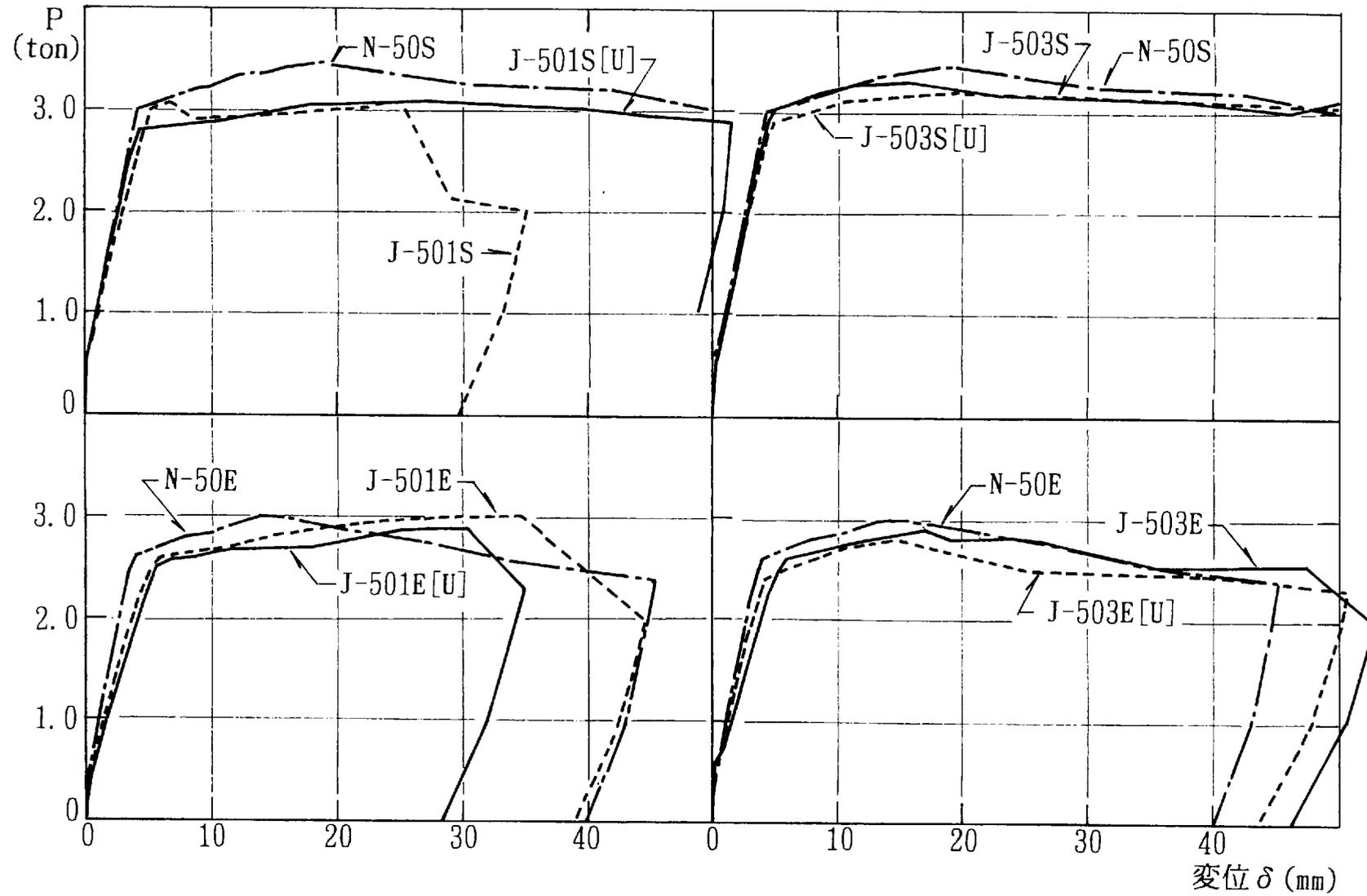
(b) 直交筋内側(S型)及び直交筋外側(E型)

図Ⅲ.2.13 荷重-変位関係-2

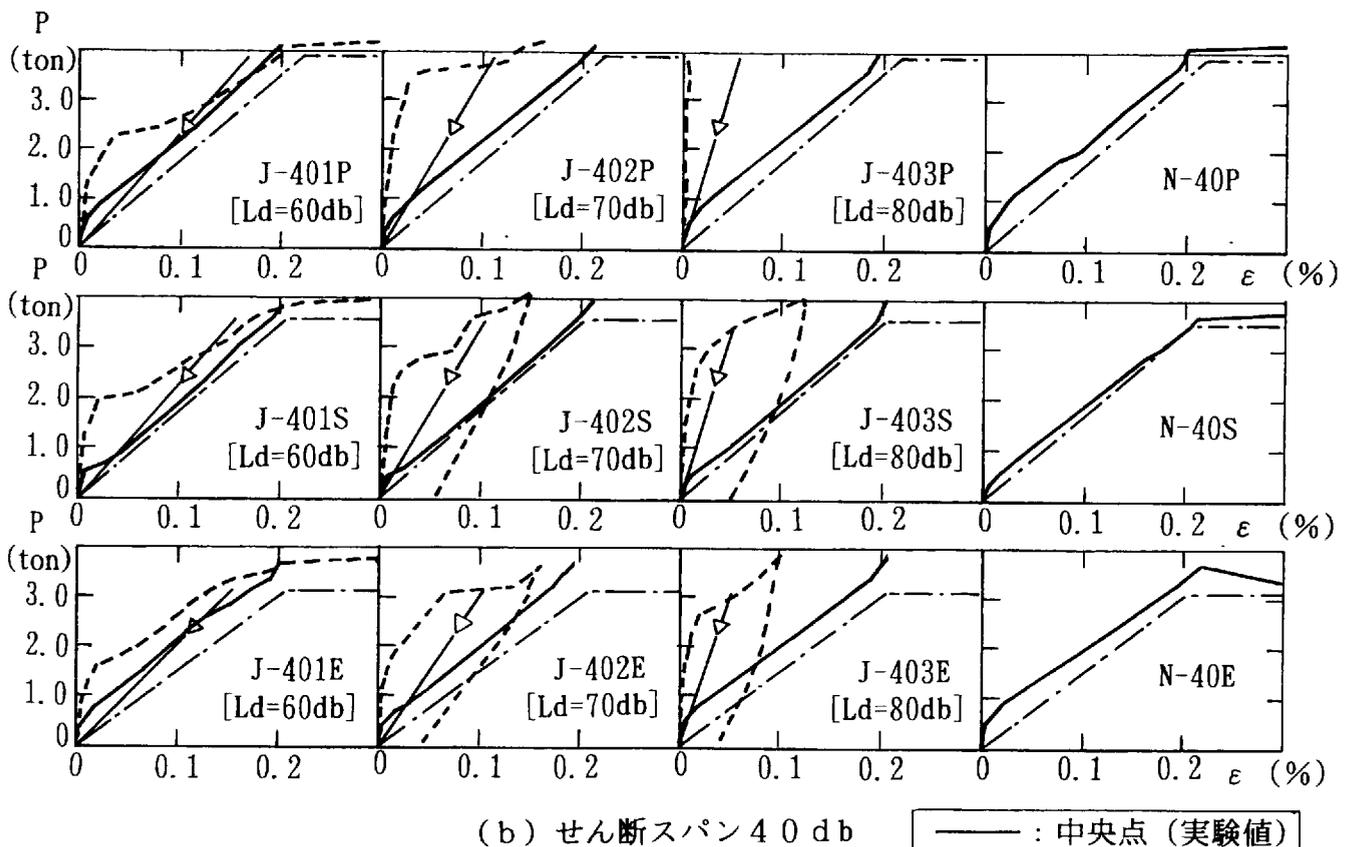
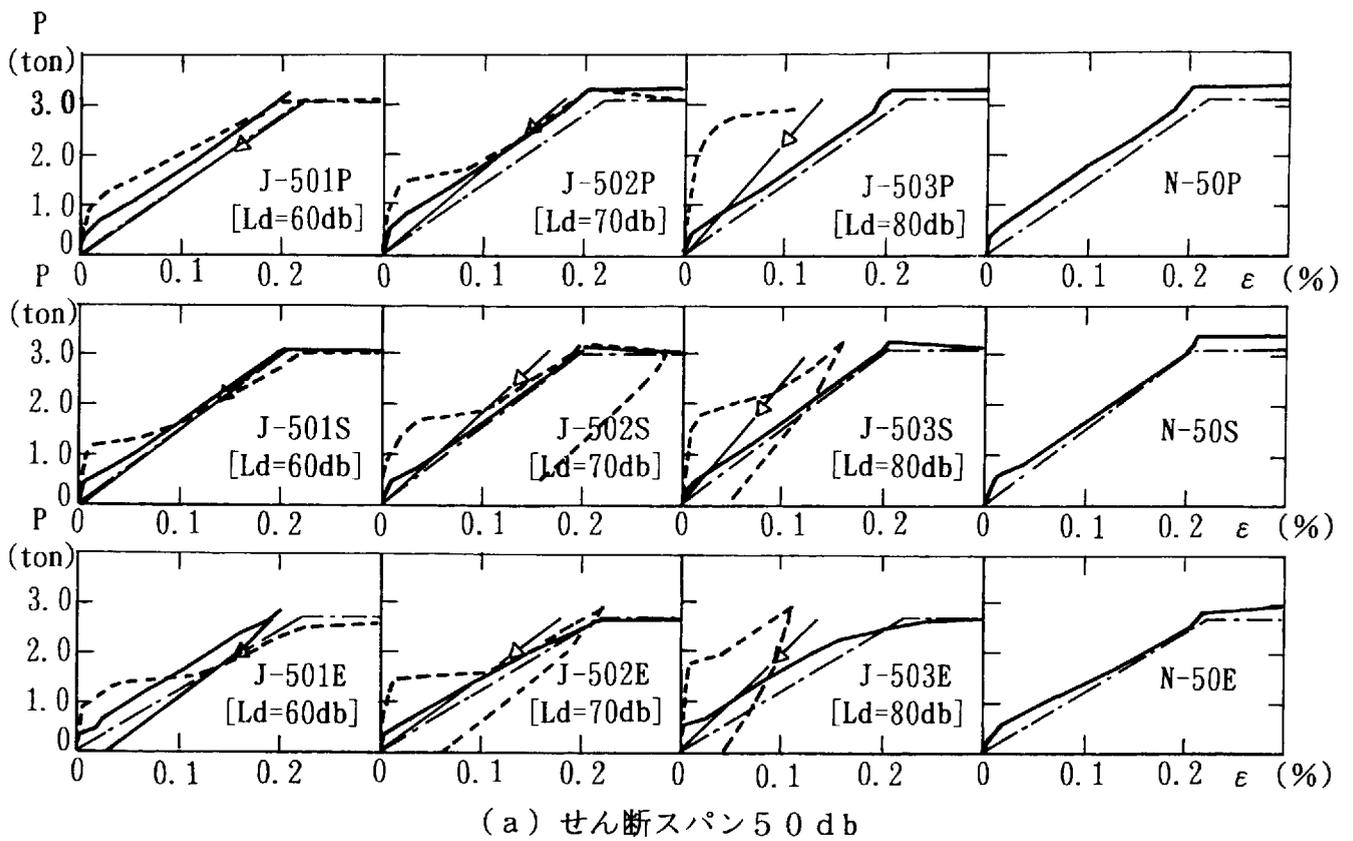


註) ['89] : 重ね継手部を上端配置にしてコンクリート打設したP型供試体

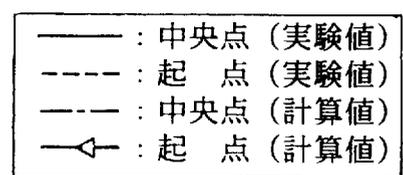
図III.2.14 荷重-変位関係(横補強筋位置による比較)



図Ⅲ. 2. 15 荷重-変位関係(鉄筋位置による影響)



図III.2.16 荷重継手中央および
起点歪関係



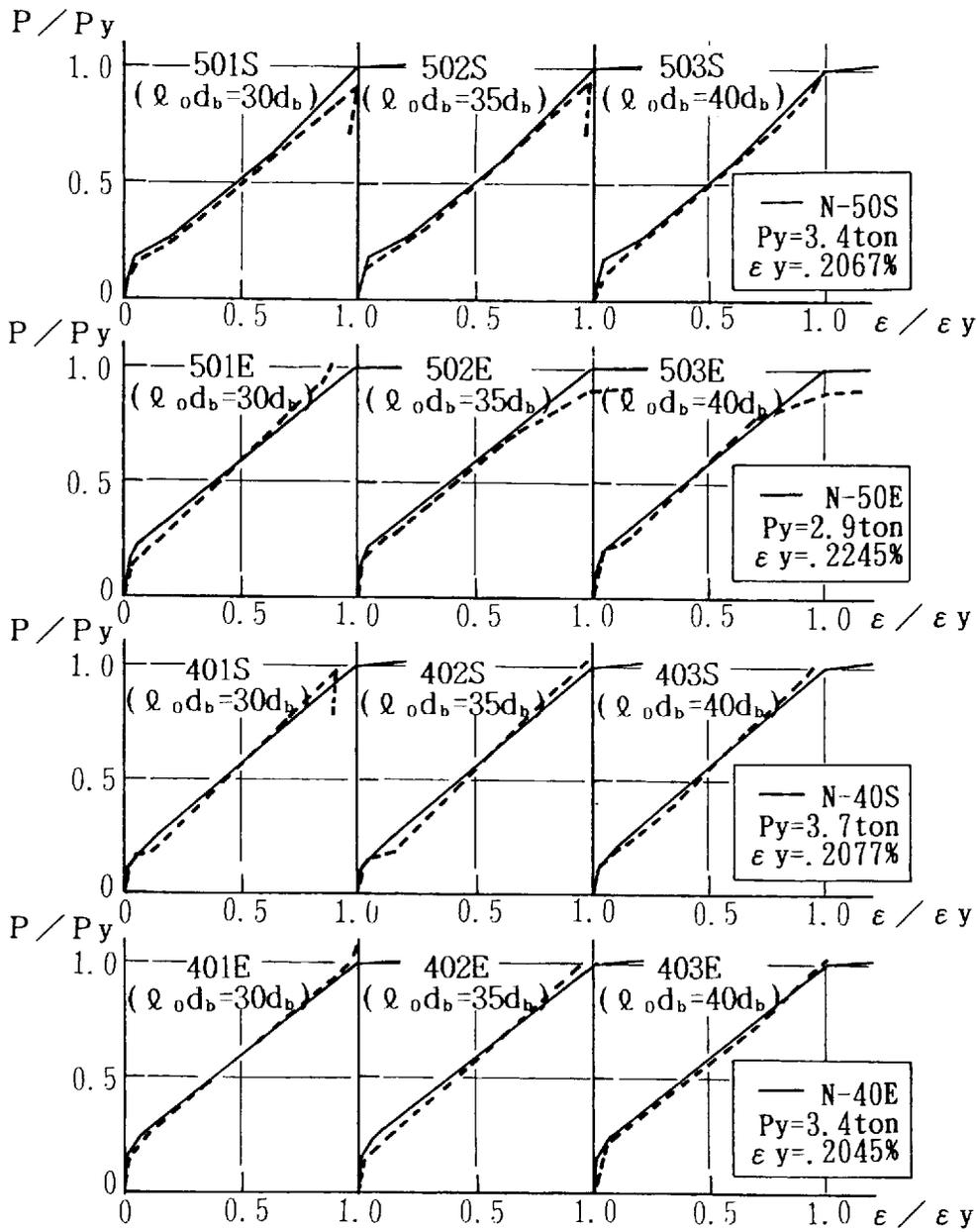


圖 III. 2. 17 $P/P_y - \epsilon/\epsilon_y$ 關係

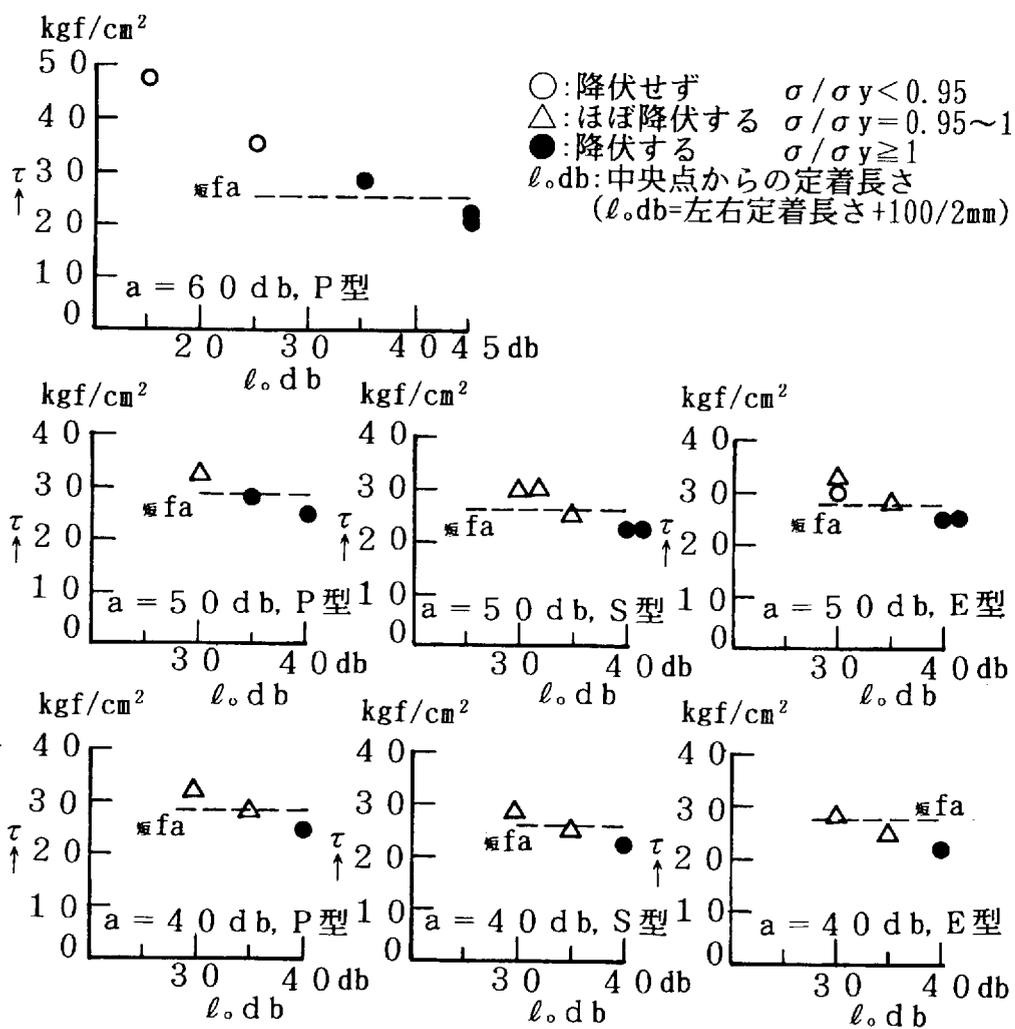


図 III. 2. 18 中央点からの定着長さと最大荷重時付着応力度関係

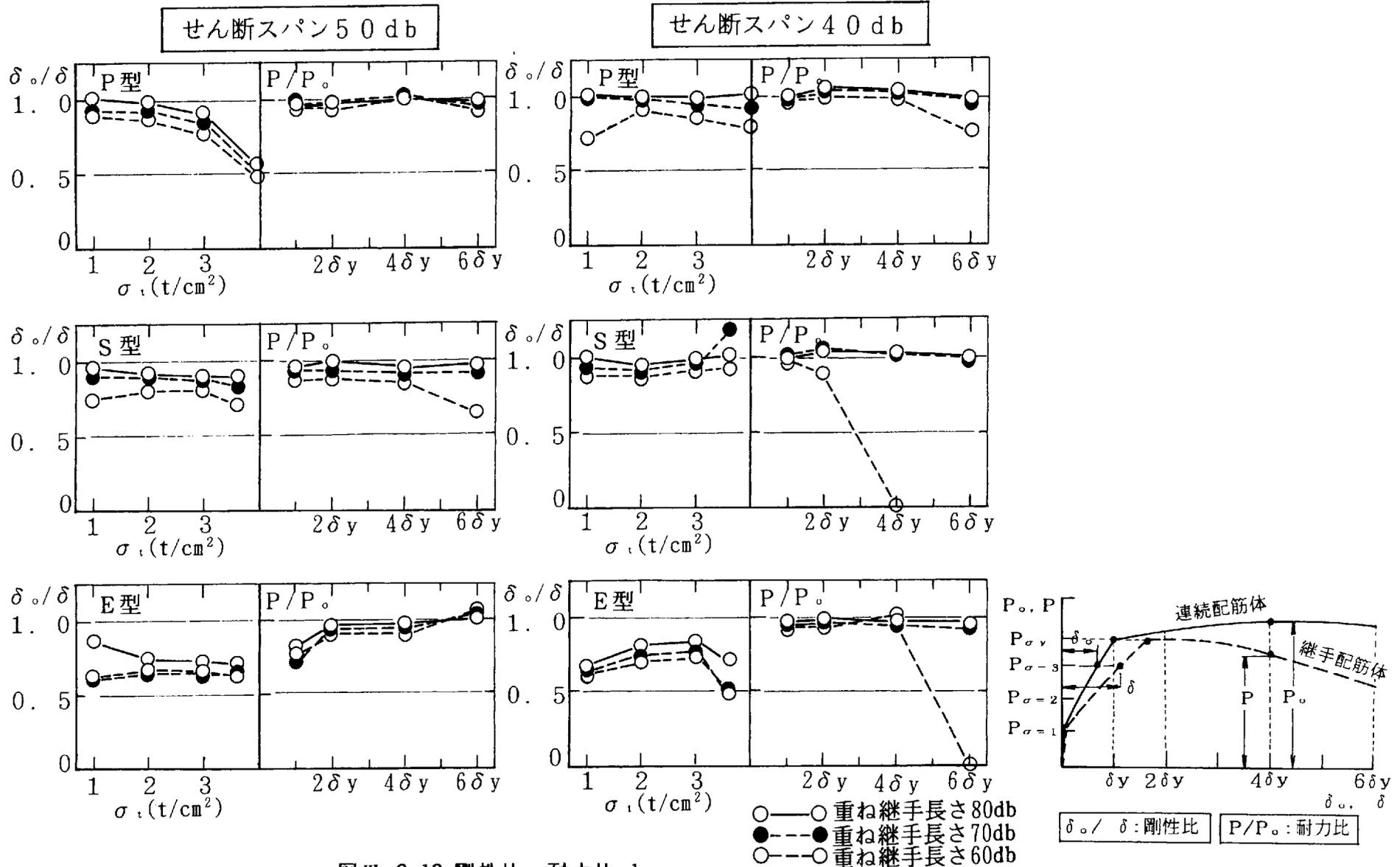
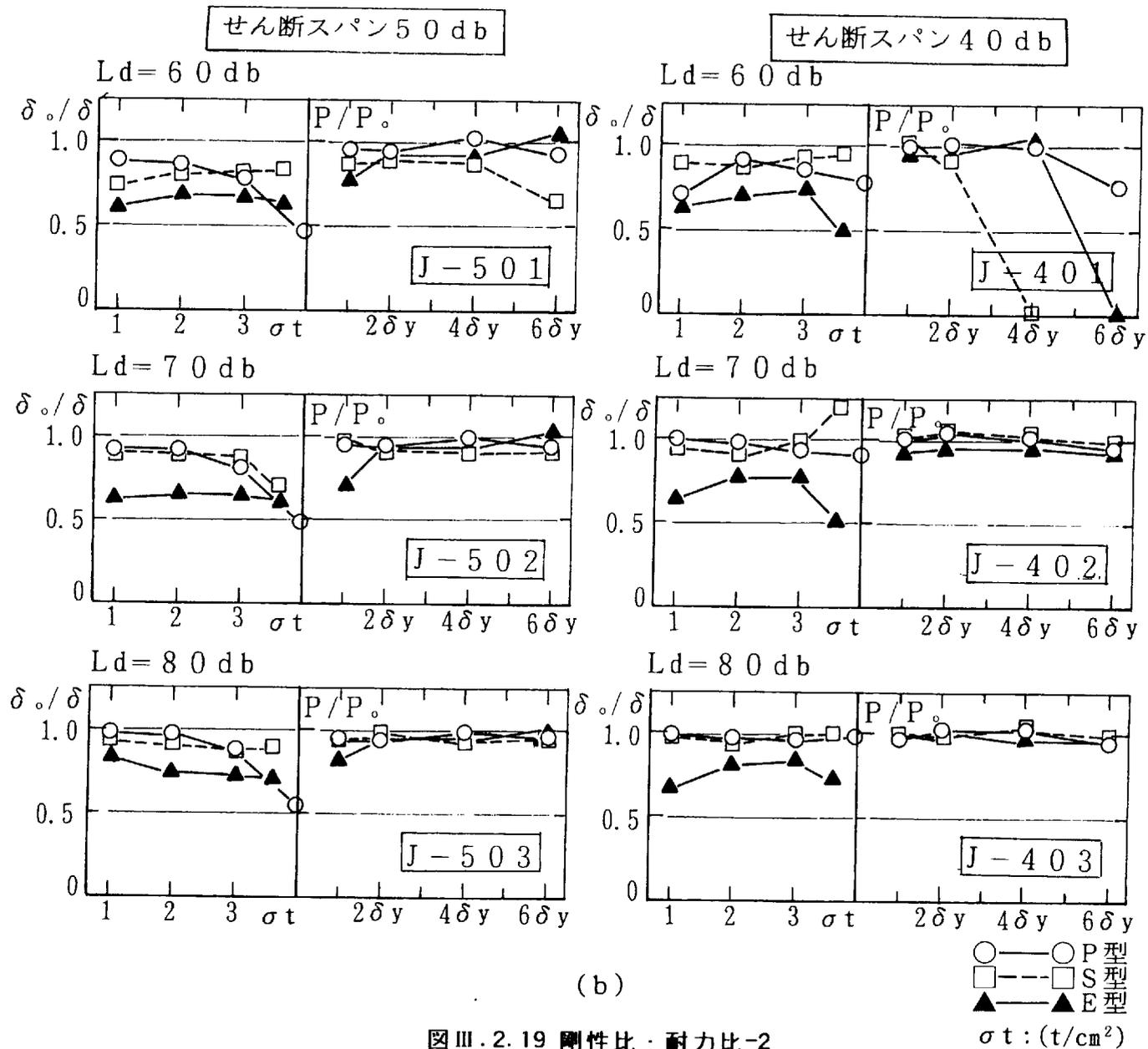


図 III. 2. 19 剛性比・耐力比-1



図Ⅲ.2.19 剛性比・耐力比-2

第3節 連続はり中間支点（曲げモーメントピーク点）に設けた重ね継手の挙動

－不静定2スパン連続スラブによる研究－

3.1 シリーズⅢ：パイロットテスト

これまでに連続スラブの固定端に模した静定の単純支持スラブ供試体によって、モーメントピーク点に重ね継手の中央を置いた重ね継手の耐力、剛性および靱性についての基礎的研究を行ない、連続鉄筋と同等の耐力性状が得られる重ね長さについて検討を行ってきた（文献49）～54）。一連の単純支持スラブ実験では、重ね継手長さ、せん断スパン、継手鉄筋に対する面外拘束としての直交筋の外、内の相対的關係の影響、コンクリート打設時の重ね継手筋の位置（上端筋あるいは下端筋）などの諸要因を取り上げ、これらの組み合わせに対して、多数の実験を行ってきた。

その結果、SD345級の鉄筋、 $F_c=350\text{kgf/cm}^2$ 程度のコンクリートの下で、日本建築学会（以下 AIJ）のRC規準の定着継手算定用の f_a 規定値を用いて計算された定着長さ（ $l'd_b = \frac{f_t}{4f_a} d_b$ ）、かつ連続ばりのM図の反曲点と固定端との距離の1/2以上の定着長さを重ねの中心より左右にとってあれば、鉄筋が上端筋であり、かつ継手部の直交筋が内側に配置され、付着割裂に対する横補強がないような付着に不利と考えられる場合であっても、重ね継手の中央点では鉄筋の降伏強度が十分に発揮でき、連続筋と同等の性状が得られることが認められた。

しかし、これらの結果は静定ばかりによるものであり、通常連続スラブは不静定であることから、耐力があってもスラブ固定端の曲げ亀裂の早期発生による剛性低下が早期に生じ、スラブ固定端の固定度がゆるみ、中央モーメントが増すあるいはたわみが増えるなどが考えられる。したがって静定ばり形式での検討に引き続き、不静定構造における剛性、耐力の同等性をチェックすることが必要と考え、ここでは実施配筋に近い不静定の2スパン連続スラブの試験体による実験に研究を進めた。まず不静定ばりとしての曲げ試験が目的通りに可能か否かをチェックするためパイロットテスト（シリーズⅢと呼ぶ）として、主筋にD6を用いた小型の2スパン連続ばりによって、その中間支点上に重ね継手を設けた曲げ試験を行い、この種の重ね継手の有効性について検討した。

3.1.1 パイロットテスト（シリーズⅢ）の概要

パイロットテスト（シリーズⅢ）の概要は、図Ⅲ.3.1(a)～(e)および表Ⅲ.3.1の試験体一覧に示した。このパイロットテストは、さきに行われた静定の単純支持スラブ供試体の実験より得られたモーメントピーク点に設けた重ね継手の性状を、不静定の2スパン連続スラブで確かめようとする縮小モデルによる曲げ試験である。

主筋には $\sigma_s=4100\text{kgf/cm}^2$ のD6を、コンクリートには $F_c=360\text{kgf/cm}^2$ を用いた。

重ね継手は連続スラブの中間支持点上に重ねの中心を置くように配筋され、重ね長さを極端に短くした $30d_b$ 、反曲点までの距離のほぼ $1/2$ を定着長さとした重ね長さ $50d_b$ 、ほぼAIJの f_a 規定値を用いた定着長さとした重ね長さ $80d_b$ とした継手試験体と比較用の連続配筋体からなる。何れも主筋量が、中間支持点上で断面の上端筋が4-D6、加力点で下端筋が2-D6となるように配筋してある。表Ⅲ.3.1に試験体一覧表、表Ⅲ.3.2に使用材料の機械的性質が、図Ⅲ.3.1(a)、(b)に試験体詳細、図Ⅲ.3.1(c)に加力図、図Ⅲ.3.1(d)、(e)に結果の一部である荷重－たわみ関係、荷重－中間支持点引張鉄筋歪関係を示した。

結果は、 $30d_b$ 、 $50d_b$ の供試体では曲げひび割れ発生後、重ね長さが短いほど剛性、耐力が低下する傾向を、また $80d_b$ の供試体では剛性、耐力とも $6\delta_s$ 時までは連続配筋体とほぼ同等か、やや上回る傾向を示し、また中間支持点上の引張鉄筋歪図においても $80d_b$ の供試体は連続筋同様、降伏点に達し、鉄筋歪は降伏以後も十分な伸びを示した。

なお $30d_b$ の供試体は継手自由端を結んだ縦ひび割れおよび重ね継手に沿ったひび割れが発生し、自由端の鉄筋のはねだしによって最終に至っている。

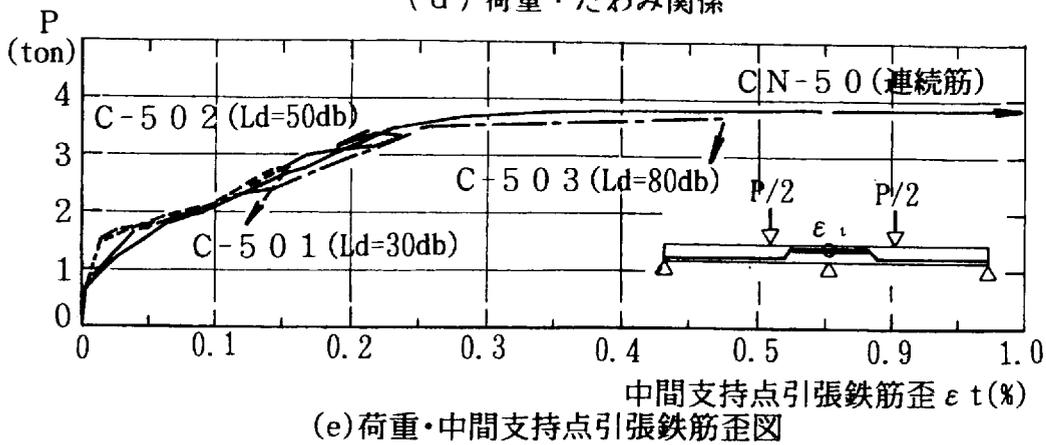
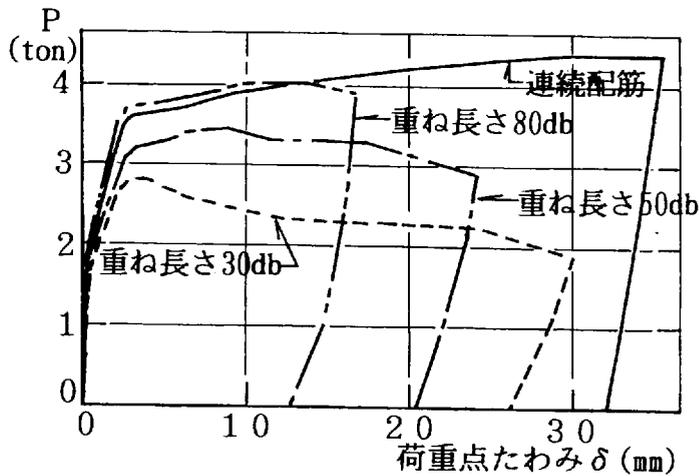
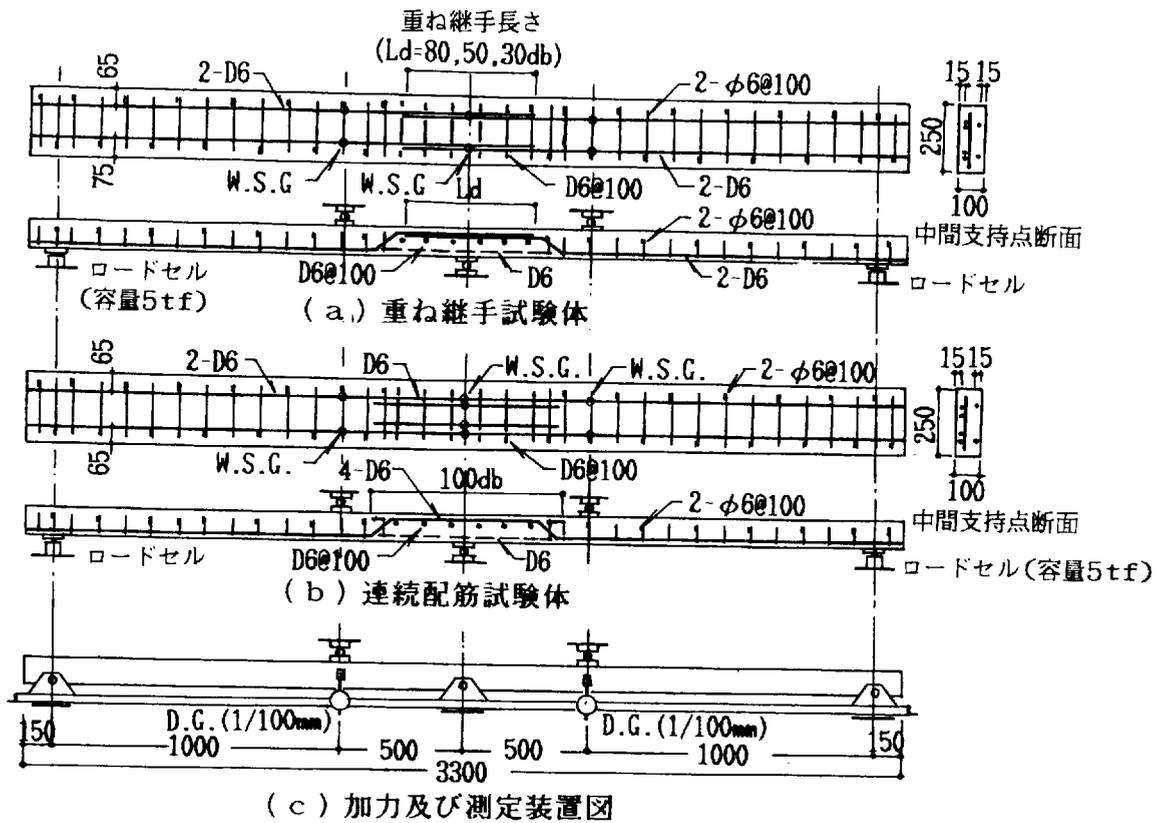
表Ⅲ.3.1 パイロットテスト試験体一覧

試験体名		引張主筋	継手域内補強	継手長さ	
シリーズⅢ	連続	CN-50	2-D6連続筋+ 2-D6カットワ筋	継手なし	
	継手試験体	C-501	2-D6	直交筋内側 (D6 @100)	30d _b : 支持点より左右定着長さ : 15d _b
		C-502			50d _b : " : 25d _b
		C-503			80d _b : " : 40d _b

- 註) 1. 重ね継手試験体の主筋は折り曲げ筋とする。
 2. 継手域外の補強は全試験体とも2-6φ@100のスターラップ型補強とする。
 3. 連続は連続配筋体を示す。

表Ⅲ.3.2 パイロットテスト使用材料の機械的性質

シリーズⅢ	コンクリート	圧縮強度 (kgf/cm ²)	歪度 (%)	ヤング係数 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)
		CN-50~C-503	360	0.19	2.34×10 ⁵
シリーズⅢ	鉄筋		降伏強度 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)	降伏時歪度 (%)
	D 6(SD345)		4120	5340	0.249
	φ 6(SR295)		3130	4190	0.219



図Ⅲ. 3.1 パイロットテスト(シリーズI)の結果

3.2 シリーズⅣ：本実験

パイロットテスト（シリーズⅢ）として、主筋にD6を用いた小型の2スパン連続ばりで、その中間支持点上に重ね継手を設けた曲げ実験を行い、この種の重ね継手の有効性について検討し、良い展望が得られた。

そこでパイロットテストの成果を踏まえて、本実験（シリーズⅣと呼ぶ）として、主筋に実状に即したD10を用い、スパン長さ240cmの2スパン連続ばりで確認実験を行った。本実験では連続スラブ中間支持点上に各種長さの重ね継手を設け、支持点上で鉄筋2本分の耐力を発揮し、2本の連続筋と同等の性能が得られる適切な重ね継手長さについての検討を行った。

3.2.1 試験体

試験体は、図Ⅲ.3.2(a)(b)に示すように、パイロットテストと同様2スパン3点支持の板状連続ばり形式とし、中間支持点上にその中心を置くように重ね継手を設けた継手試験体と、比較のための中間支持点を連続配筋とした連続配筋体の2種とする。加力点は、均等断面ばりの弾性モーメント分布で中間支持点の負曲げモーメントと加力点の正曲げモーメントの比がほぼ2:1になるように加力点、中間支持点間の距離を75cmに設定した。これは中間支持点より反曲点迄の距離がD10を用いた本実験体では約 $50d_b$ (d_b :鉄筋径)に相当する。なお2:1としたのは中間支持点上で $2a_t$ 、加力点下で a_t の鉄筋断面の耐力をフルに発揮させるためである。

試験体断面は幅25cm×全せい10cm（有効せい8.0cm）とする。全ての試験体で主筋は反曲点位置に曲げ上げの中心を持つような折曲げ筋（曲げ上げ筋）として配筋され、中間支持点で断面の上端筋は4-D10、加力点で断面の下端筋が2-D10になるように計画する。

重ね継手試験体は、重ね長さの中心を中間支持点上に置くように設け、重ね長さは $100d_b$ 、 $70d_b$ 、 $60d_b$ 、 $40d_b$ 、 $20d_b$ の5種各1体とする。重ね長さ $70d_b$ 、 $60d_b$ はAIJの f_a 規定値を用いて求められる定着長さ程度を重ねの中心の両側に持つものであり、重ね長さ $100d_b$ は中間支持点より左右の反曲点までの距離一杯の重ね長さ（AIJの f_a 規定値を用いて求められる定着長さ以上に相当する）で、これら

の供試体は耐力、剛性および靱性に関して連続配筋体とどの程度同等か、あるいは同等以上であるかを確かめようとするものである。また重ね長さ $40d_b$ 、 $20d_b$ は剛性、耐力共、明らかに不足し、重ね継手部ではほぼ鉄筋1本分に相当するか、あるいは以下であろうと見込まれるものである。

重ね継手試験体との比較用の連続配筋体は、中間支持点上の上端引張鉄筋がすべて連続配筋となるよう中間支持点より左右スパンにわたり連続の2-D 10の折曲げ筋+2-D 10のカットオフ筋($L=120d_b$)とし、これは同種のもの2体を用意した。なお何れの重ね継手試験体にも継手の自由端にははねだし防止のためのU字筋(6φ)により補強した。これらの試験体一覧を表Ⅲ.3.3に示した。

各継手試験体では鉄筋相互のあきを零とした水平密着継手とし、連続配筋体では、鉄筋相互のあきは鉄筋径 d_b とする。また重ね継手域横筋は主筋と同径のD 10を内側配筋とし、重ね継手域外の横補強はすべて2-6φ@100の閉鎖型スターラップ型補強とする。なお、すべての供試体の中間支持点領域には、圧縮補強として下端圧縮筋には2-D 10を中央支持点より左右反曲点間にわたって配筋してある。

3.2.2 使用材料

コンクリートは、粗骨材に最大寸法10mmの川砂利を用いた実験時の強度 $380\text{kgf}/\text{cm}^2$ 程度の普通コンクリートとする。使用する鉄筋は、主筋および継手域内直交筋をSD295のD 10、継手域外をSR235の6φとする。それぞれの材料の機械的性質を表Ⅲ.3.4に示す。

3.2.3 加力および測定方法

加力は図Ⅲ.3.2(c)に示すように、3点支持の連続はり形式の板状部材に2点集中載荷とする。載荷は、連続配筋体の中間支持点における上端引張鉄筋の鉄筋応力が特定鉄筋応力($\sigma_s=1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 3620(=\sigma_y)\text{kgf}/\text{cm}^2$)に相当する荷重で一方向漸増繰り返しの荷重制御とし、その後は引張鉄筋降伏時の加力点のたわみ δ_y を基準に $2\delta_y, 4\delta_y, 6\delta_y$ で各一回の一方向繰り返しの変形制御とする。ここに鉄筋応力度と荷重の関係は、鉄筋コンクリート部材の非弾性性状は考慮せず、全荷重階を通じて弾性モーメント分布の仮定に基づくPとMの

関係および $M = a_i \cdot \sigma_{tj}$ 、 $j = 0.9d$ の仮定に基づき求めた。

重ね継手試験体は前述の連続配筋体の制御荷重、制御変形に従って加力した。

各荷重毎にひび割れの進展状況を観察し、また継手中央点および継手起点の主筋歪、加力点での引張主筋歪をワイヤーストレインゲージ（検長5 mm）によって、また加力点のたわみをゲージホルダーを介して精度1/100mm 電動式ダイヤルゲージによって計測した。なおゲージホルダー自体の実験中の垂直方向の変形量を補正するために一方の支持点において、ゲージホルダーが上下にスライドできるようにし、ホルダーと支持点のスライド量を計測し、左右スパンのたわみを修正する。左右の支持点においては、ロードセル（容量5tonf）によって反力を検出する。

3.2.4 実験結果および考察

(1) 破壊状況

試験体の上面（特に中央引張面）および側面の破壊時ひび割れ状況を図Ⅲ.3.3に示す。

- 1) 初期曲げひび割れは中間支持点引張域に発生した。
- 2) 20d_b、40d_bの供試体は、 $\sigma_{t1} = 3500 \text{ kgf/cm}^2$ の荷重段階で、すでに連続配筋体の降伏時変位に達し、継手自由端を結んだ線上のひび割れおよび重ね継手に沿ったひび割れが発生した。最終的には継手自由端にひび割れが集中するものの、はねだし防止の補強筋のためか急激な破壊に至らなかった。
- 3) 60d_b、70d_b、100d_bの供試体は連続配筋体同様、6 δ_y 時まで大きな荷重低下もなく、最終的には中央曲げひび割れがせん断ひび割れへと移行し、圧縮域圧壊となった。

(2) 荷重－変形関係

連続配筋試験体のそれと比較して、図Ⅲ.3.4に各試験体の荷重－変形関係の包絡線を示した。連続配筋体については2体の実験結果を平均したものを示してある。

連続配筋体は、6 δ_y 時以降も荷重増を示し、大きな靱性を示した。重ね長さ20

d_b 、 $40d_b$ の供試体では曲げひび割れ発生後、剛性が小さくなり、すでに連続配筋体には及ばなくなる。これら重ね長さの短いものは、最大荷重時以降に急激な耐力低下をきたす傾向がある。また重ね長さ $60d_b$ 、 $70d_b$ 、 $100d_b$ の供試体については、降伏後も耐力低下を示すことなく $6\delta_y$ 時まで連続配筋体より剛性、耐力共に上回った。

(3) 荷重－中間支持点引張鉄筋歪関係

図Ⅲ.3.5は中間支持点の重ね継手筋中央に貼布したゲージから得られた荷重－中間支持点引張鉄筋歪曲線を示したものである。全供試体ともほぼ連続配筋体の歪の進展に沿って進み、重ね長さ $60d_b$ 、 $70d_b$ 、 $100d_b$ の供試体では共に降伏歪に達し、重ね長さが長くなるほど最大耐力時の歪度がゆるやかな荷重増加を伴い大きくなる。すなわち部材の靱性が増してくることを示す。重ね長さが短い $20d_b$ 、 $40d_b$ は降伏歪に達する前に減少する傾向を示す。これは重ね継手自由端から発生したひび割れの開口、進展のため応力が緩む結果からとみられる。

(4) 剛性比、耐力比

図Ⅲ.3.6は連続配筋体に対する各試験体の荷重の進行に伴う剛性比と耐力比を示す。ここに剛性比とは、連続配筋体の $P_0-\delta_0$ 図を基準に、中間支持点引張鉄筋の特定応力($\sigma_t=1000, 2000, 3000, 3620\text{kgf/cm}^2$ (降伏強度))に対する荷重時の継手試験体のたわみとの比 δ_0/δ であり、また耐力比とは連続配筋体の降伏荷重時の変形 δ_y を基準に、 $\delta_y, 2\delta_y, 4\delta_y, 6\delta_y$ における継手試験体と連続配筋体の耐力の比 P/P_0 である。

重ね長さが短い供試体(C-5101重ね長さ $20d_b$ 、C-5102重ね長さ $40d_b$)は初期の剛性は連続配筋体より高いが荷重増加と共に低下する傾向を、それに対して、C-5103重ね長さ $60d_b$ 、C-5104重ね長さ $70d_b$ 、C-5105重ね長さ $100d_b$ の供試体は、共にほぼ連続配筋体同様の剛性比を示すと言える。また $\sigma_t=3000\text{kgf/cm}^2$ から降伏荷重時に、剛性比が急に大きくなる傾向がみられる。一方、耐力比は重ね長さ $20d_b$ 、 $40d_b$ は共に連続配筋体より低く、重ね長さ $60d_b$ 、 $70d_b$ 、 $100d_b$ はほとんど連続配筋体と遜色がなく同等と言える。

(5) 耐 力

表Ⅲ.3.5には各試験体の降伏荷重時、最大荷重時の耐力、破壊形式および最大荷重時曲げモーメントの値を連続配筋体のそれとの比と共に示した。表中の破壊形式におけるせん断圧縮破壊(中)とは、中間支持点の曲げせん断ひび割れによる中央圧縮域圧壊による破壊を、曲げおよびせん断とは、加力点の曲げ破壊とはほぼ同時に重ね継手自由端から生じたせん断ひび割れによる破壊を示す。

最大荷重時曲げモーメントとは最大荷重時の中間支持点上の曲げモーメントを指し、 M_{ue} はロードセルにより検出した左右支持点の反力と荷重より算出したものであり、 M_{ue}' は最大荷重時における中間支持点の鉄筋の歪より求めた引張応力度によったもの ($M_{ue}' = 0.9 \cdot a_t \cdot \sigma_t \cdot d$) である。連続配筋体との耐力比を見ると、降伏荷重時、最大荷重時共に重ね長さ $60d_b$ 以上の供試体は連続配筋体と同等の耐力を示す。

(6) 荷重－モーメント関係

図Ⅲ.3.7はA点(はり端部支点)のロードセル反力(ただし、両端部支点の平均値)および試験機荷重を用いて計算した加力点(C点)および中間支持点(B点)のモーメント M_c 、 M_b およびC、B断面の鉄筋歪測定値より算定される各荷重時の断面耐力 ($M = a_t \cdot \sigma_t \cdot j$, $j = 0.9d$) の推移を荷重 P に対して示し、併せて弾性解による $P - M$ 関係も記入した。

ロードセル反力に基づく M_c 、 M_b の推移：連続配筋体(CN-500)と重ね長さ $70d_b$ 、 $100d_b$ (C-5104、C-5105) は、ほぼ弾性解の $P - M$ 関係 ($M_c : M_b = 0.48 : 1$) に追従している。重ね長さ $60d_b$ (C-5103) は、初期荷重では M_c は弾性解より大きく、 M_b は弾性解より小さく合わないが、荷重の上昇に従い弾性解に近寄る傾向を示す。重ね長さ $20d_b$ 、 $40d_b$ (C-5101、C-5102) は、初期の荷重より最終荷重まで M_c は弾性解より大きく、 M_b は弾性解より小さく推移し、特に M_c の弾性解からの離れ方が大きい。これは重ね長さが短いほど継手部断面の曲げ剛性が小さく、かつ継手端に発生したひび割れが大きく開口し、それらの影響を受けて中間支持点(B点)域での曲げ剛性が加力点(C点)域のそれに較べてより大きく緩む結果より生ずるものと判断される。

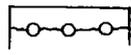
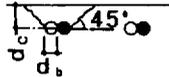
鉄筋歪測定値に基づく M_c 、 M_n の推移：鉄筋歪測定値に基づく断面耐力は、コンクリートの引張応力無視の仮定によって算定しているから、当然の事ながらいずれの場合も、荷重初期の曲げひび割れ以前には前述のロードセル反力に基づく M より著しく小さく、曲げひび割れ発生後は急速にそれに接近する状況が見られる。

(7) 最大荷重時の継手部付着応力度

各試験体の最大荷重時における継手中央点の鉄筋歪より求められる鉄筋応力度が継手末端までの間の付着応力でコンクリートに定着されるものとして、この間の平均付着応力度を求め、パイロットテスト（シリーズⅢ）も含めて表Ⅲ.3.6および図Ⅲ.3.8に示した。図Ⅲ.3.8には、得られた付着応力度を、継手中央点からの定着長さ l_{od_b} （継手長さの1/2）に対して示した。更に図Ⅲ.3.9には既往の単純ばり実験およびパイロットテストも含めた全試験体の結果について、最大荷重時に発揮する平均付着応力度を、継手中央点からの定着長さ l_{od_b} に対してプロットして示した。図Ⅲ.3.9では平均付着応力度を各実験シリーズのコンクリート強度で除して無次元化して示してある。図中の $f_a/F_c=0.08$ は、各シリーズ試験体に対してRC規準で定められる定着継手長さ用許容付着応力度（短期） f_a/F_c の値の平均値である。

図Ⅲ.3.8から最大荷重時の平均付着応力度は、継手長さが長くなるにしたがって小さく算定され、シリーズⅢの $80d_b$ （定着長さ $l_{od_b}=40d_b$ ）、シリーズⅣの $70d_b$ （ $l_{od_b}=35d_b$ ）（共にAIJの f_a 規定値を用いて定めた重ね長さに近い）および $100d_b$ （ $l_{od_b}=50d_b$ ）の供試体は共に、RC規準に定められた継手の短期許容付着応力度以下に位置する。更にこれを既往の単純ばりによる結果を含めた図Ⅲ.3.9によると、重ね継手中央部が降伏もしくはほぼ降伏する試験体は定着長さとしてはほぼ $30d_b$ 以上（重ね長さ $60d_b$ 以上）であり、算定される最大荷重時の付着応力度の上限は、RC規準の定着長さ算定用の許容付着応力度程度である事が認められる。すなわちRC規準の許容付着応力度できまる定着長さ以上を継手中央より左右に取っておけば、継手中央で十分に降伏点を発揮できることが静定の単純ばりで予見され、不静定の連続ばり試験で確かめられたと言える。

(8) 終局付着割裂強度に対する検討

本研究は、鉄筋コンクリートスラブにおける継手を対象としているため全試験体を通じて、継手間の相互のあきおよび側方のあきは十分に取り、コーナースプリットあるいは全割裂型の付着破壊は生じないように計画しているが、付着割裂破壊について、AIJの鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針(1990年)により検討する。同指針6.5節文中の式($\tau_{bu} = (1.2 + 5pw'b/d_b)\sqrt{\sigma_b}$)は、主筋に対して、かぶり、あきが最小の柱、はりなどを対象としていると考えられ、スラブを対象とした本実験の検討には不適當なので指針解説中の $\tau_{co} = (0.4 \cdot b_i + 0.5)\sqrt{\sigma_b}$ により検討した。ここで b_i は割裂線の長さについての量であるが、本実験の場合にはコーナー割裂および全割裂共に当てはまらない。ただしコーナー割裂()、全割裂()のほかにVノッチ割裂()が生じ得ると考え、割裂線の角度を45°とすれば $b_{ci} = (2\sqrt{2}d_c - d_b)/d_b$ となり、コーナー割裂の場合と同じ形になる。しかも $b_i = b_{ci}$ 、 b_{si} の小さい方という定義と一致する。そこで $b_i = b_{ci}$ として扱い、 τ_{co} を算定すると、シリーズIIIでは35.8kgf/cm²、シリーズIVでは36.8kgf/cm²(共に $b_{ci} = 4.657$)となり、図III.3.10に示すように、その値は降伏する、降伏せずの間に位置する。また τ_{co} と短期 $f_a = 28.7$ kgf/cm²(シリーズIII)~27.9kgf/cm²(シリーズIV)の比は共に $\tau_{co}/f_a = 1.28$ を示す。なお因みにD13、D16、D19の鉄筋について、かぶり寸法を20mmとしたときの終局付着強度 τ_{co} および短期 f_a 値($f_a = 28.7$ kgf/cm²: $F_c = 380$)との比を示したのが表III.3.7である。D13では $\tau_{co}/f_a = 1.31$ を示し、D10同様に適切な安全率を持つと言える。またD16($\tau_{co}/f_a = 1.13$)以上は本研究における適用範囲を超えるものと言える。

これらの事から、採用したAIJの短期 f_a 値は本研究のようにスラブを対象とした場合、すなわち鉄筋径がD10程度、かぶり $1.5\text{cm} \cong 1.5d_b$ 、鉄筋間隔が十分に大きい場合には割裂付着強度に対しても適切な安全率を持つ値であることが分かる。

(9) 定着長さと継手の耐力・靱性

つぎに定着長さと継手部の耐力、特に靱性について検討する。

図III.3.10は、各試験体のP- ϵ 線図(図III.3.5)に基づいて、連続配筋体の

降伏時強度 P_y に対する各重ね継手試験体の最大荷重時強度 P_u の比を耐力比 P_u/P_y として、また連続配筋体の降伏時歪度 ϵ_y に対する各継手試験体の最大荷重時の重ね中央点の歪 ϵ_u との比を靱性率 ϵ_u/ϵ_y として、それぞれ重ね長さに対して、図Ⅲ.3.10(a)、(b)に示した。図にはパイロットテスト(シリーズⅢ)の結果もプロットされている。これによると重ね長さ20~40 d_b (定着長10~20 d_b)では耐力比 $P_u/P_y=0.7\sim 0.8$ となり、靱性率 $\epsilon_u/\epsilon_y=0.6\sim 0.8$ である。重ね長さ50~60 d_b (定着長25~30 d_b)では $P_u/P_y=0.85\sim 1.0$ 、靱性率 $\epsilon_u/\epsilon_y=0.9\sim 1.0$ を示し、この程度の重ね長さがあれば連続配筋体にはほぼ等しい耐力が得られることになる。重ね長さ70~80 d_b (定着長35~40 d_b)では $P_u/P_y=1.0$ 、靱性率 $\epsilon_u/\epsilon_y=2.0$ となり、かなりの靱性が得られる。したがって本実験およびパイロットテストを通じて、連続配筋体と耐力、剛性が同等であるためには、重ね長さとして50~60 d_b が必要であり、また耐力、剛性が同等で、更に靱性率 $\epsilon_u/\epsilon_y=2.0$ 程度を持つためには重ね長さ70~80 d_b が必要という事になる。このシリーズで使用された鉄筋の σ_y 、コンクリートの F_c からAIJ式で求まる定着長さはそれぞれ $l'=37d_b$ (シリーズⅢ)32 d_b (シリーズⅣ)であるから、耐力同等のための重ね継手長さは、ほぼAIJ式による値の2倍、更に靱性率 $\epsilon_u/\epsilon_y=2.0$ を持たせるためにはAIJ式による値に5 d_b 程度を加えた値(AIJ式の値+5 d_b)の2倍で良いという事がいえる。

3.2.5 結 論

連続スラブ中間支持点上に各種長さの重ね継手を設けた本実験において、連続筋と同等の性能が得られる適切な重ね長さについての検討を行った結果、

- 1) 重ね継手長さの短い20 d_b 、40 d_b 供試体は $\sigma_t=3500\text{kgf/cm}^2$ の荷重段階で、すでに連続配筋体の降伏時変位に達し、継手自由端を結んだ線上のひび割れおよび重ね継手に沿ったひび割れが発生し、最大荷重時以降に急激な耐力低下をきたす傾向がある。
- 2) 重ね長さ60 d_b 、70 d_b 、100 d_b の供試体は共に降伏歪に達し、荷重の増加と共に連続配筋体同様の剛性比を示し、また重ね長さが長くなるほど靱性を増す傾向がある。
- 3) 重ね継手中央部が降伏もしくはほぼ降伏する試験体(重ね長さ60 d_b 以上)

の最大荷重時の付着応力度の上限は、RC規準の定着継手長さ算定用の許容付着応力度程度であることが認められた。

- 4) AIJ のRC造建物の終局強度型耐震設計指針による付着割裂強度(τ_{co})に対して、上記の許容付着応力度(f_a)の比は $\tau_{co}/f_a=1.28$ となり、適切な安全率を持つものと言える。
- 5) 中央支持点からの定着長さと継手部の耐力比および靱性率についてみると連続配筋体と耐力、剛性が同等であるためには、重ね長さとして $50\sim 60d_b$ が、更に靱性率 $\epsilon_u/\epsilon_y=2$ 程度を持つためには重ね長さ $70\sim 80d_b$ が必要と言うことになる。

なおこのシリーズで使用された鉄筋の σ_y 、コンクリートの F_c から AIJ 式で定まる定着長さはそれぞれ $l' = 37d_b$ (シリーズ III)、 $32d_b$ (シリーズ IV) であるから、耐力同等のための重ね継手長さは、ほぼ AIJ 式による値の 2 倍、更に靱性率 ≈ 2 を持たせるためには AIJ 式による値に $5d_b$ 程度を加えた値の 2 倍で良いといえる。

表Ⅲ.3.3 試験体一覧

試験体名		引張主筋	継手域内補強	継手長さ		
シリーズIV試験体	連続	CN-500	2-D10連続筋+ 2-D10カットワ筋	継手なし		
	継手	C-5101	2-D10	直交筋内側 (D10@100)	20d _b	支持点より左右定着長さ：10d _b
		C-5102			40d _b	：20d _b
		C-5103			60d _b	：30d _b
		C-5104			70d _b	：35d _b
		C-5105			100d _b	：50d _b

- 註) 1. 重ね継手試験体の主筋は折り曲げ筋とする。
 2. 継手域外の補強は全試験体とも2-6φ@100のスターラップ型補強とする。
 3. 連続は、連続配筋体を示す。

表Ⅲ.3.4 材料の機械的性質

シリーズIV試験体	コンクリート	圧縮強度 (kgf/cm ²)	歪度 (%)	ヤング係数 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)
	CN500-C-5105		380	0.18	1.63×10 ⁵
シリーズIV試験体	鉄筋		降伏強度 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)	降伏時歪度 (%)
	D 10(SD295)		3660	5400	0.185
	6 φ(SR295)		3130	4190	0.219

表III.3.5 実験結果一覧

試験体名	重ね継手長さ L _d	曲げひび割れ発生 Pc (tonf)	降伏荷重 Py (tonf)	最大荷重 Pu (tonf)	最大荷重時曲げモーメント		Py 連続Py	Mue 連続Mue	Mue' 連続Mue'	Mue' Mue	破壊形式				
					Mue(tcm)	Mue'(tcm)									
シリーズIII	CN-50	連続	1.3(中)	3.5(同時)	4.30	59.8	40.4	1.00	1.00	1.00	0.68	せん断圧縮(中)			
	C-501	30d _o	1.4(中)	2.6(加力)	2.81	32.8	24.5	0.74	0.55	0.61	0.75	曲げ及びせん断			
	C-502	50d _o	1.3(加)	3.0(加力)	3.45	45.3	37.2	0.86	0.76	0.92	0.82	同			
	C-503	80d _o	1.3(中)	3.5(同時)	4.05	57.6	40.4	1.00	0.96	1.00	0.70	せん断圧縮(中)			
シリーズIV	CN-500	連続	0.5	0.5 (中)	3.6	3.6 (中)	4.23	4.33	75.1	89.8	1.00	1.00	1.00	0.84	せん断圧縮(中)
			0.5		3.6		4.43								
	C-5101	20d _o	0.5(中)	3.0(加)	3.10	52.8	59.9	0.83	0.67	0.69	0.87	曲げ及びせん断			
	C-5102	40d _o	0.5(中)	3.3(加)	3.70	55.1	63.1	0.92	0.70	0.73	0.87	曲げ及びせん断			
	C-5103	60d _o	0.4(中)	3.65(中)	4.36	75.1	88.3	1.01	0.98	1.00	0.85	せん断圧縮(中)			
	C-5104	70d _o	0.5(中)	3.6(中)	4.52	75.1	105.3	1.00	1.17	1.00	0.71	せん断圧縮(中)			
C-5105	100d _o	0.4(中)	3.5(中)	4.50	75.1	92.0	0.97	1.02	1.00	0.82	せん断圧縮(中)				

- 註) 1. 曲げひび割れ発生欄の(中)とは中央支持点引張域を、(加)は加力点引張域に発生したことを示す。
 2. 降伏荷重欄の(同時)とは中央支持点と加力点の引張鉄筋がほぼ同時に降伏歪に達したことを、(加力)は加力点の引張鉄筋のみが降伏歪に達したことを示す。
 3. 最大荷重時曲げモーメントMueは両支持点のロードセルから読み取った反力(R_{Ld})および最大荷重(Pu)を用いて、シリーズIIIは弾性解析Mue=R_{Ld}×150-Pu×50/2、シリーズIVは弾性解析Mue=R_{Ld}×232.5-Pu×75.2/2により計算したもの。
 4. 最大荷重時曲げモーメントMue'は中央引張鉄筋の応力を用いて、Mue'=0.9×at×σ_s×d(シリーズIII: at=2.85cm²、d=8cm、シリーズIV: at=1.28cm²、d=8.5cm)により算出した。
 5. 連続配筋体(CN-500)については2体の平均を示している。
 6. シリーズIIIにおける破壊形式で、せん断圧縮(中)とは中間支持点の曲げせん断ひび割れによる中央圧縮圧壊による破壊を示す。

表Ⅲ.3.6 最大荷重時平均付着応力度

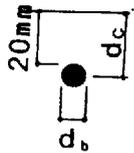
試験体名		重 手 ね 長 L _d	ε (×10 ⁻³)	$\frac{\epsilon}{\epsilon_y}$	σ _t (kgf/cm ²)	τ (kgf/cm ²)	f _a (F _c) (kgf/cm ²)	指針解説式 (kgf/cm ²)
シ リ ー ズ Ⅲ	CN-50	連 続	4740	1.90	4120	—	27.9 (F _c =360)	35.9 (F _c =360)
	C-501	30d _b	1504	0.60	2497	41.6		
	C-502	50d _b	2286	0.92	3794	37.9		
	C-503	80d _b	13850	5.56	4120	25.8		
シ リ ー ズ Ⅳ	CN-500	連 続	14380	7.77	3660	—	28.7 (F _c =380)	36.8 (F _c =380)
	C-5101	20d _b	1270	0.69	2510	62.8		
	C-5102	40d _b	1480	0.80	2940	36.8		
	C-5103	60d _b	4875	2.64	3660	30.5		
	C-5104	70d _b	11000	5.94	3660	26.1		
	C-5105	100d _b	12740	6.89	3660	18.3		

註) 1. シリーズⅢⅣの降伏強度は ε_y=2490×10⁻³(シリーズⅢ)、ε_y=1850×10⁻³(シリーズⅣ)
 2. τ=σ_t/4/(L_d/2)

表Ⅲ.3.7 D13、D16、D19における終局付着強度

鉄筋径	dc (cm)	bci (cm)	τ_{co} (kgf/cm ²)	τ_{co}/σ_{fa}
D13	2.0	4.77	37.66	1.31
D16	2.0	3.95	32.44	1.13
D19	2.0	3.39	28.94	1.01

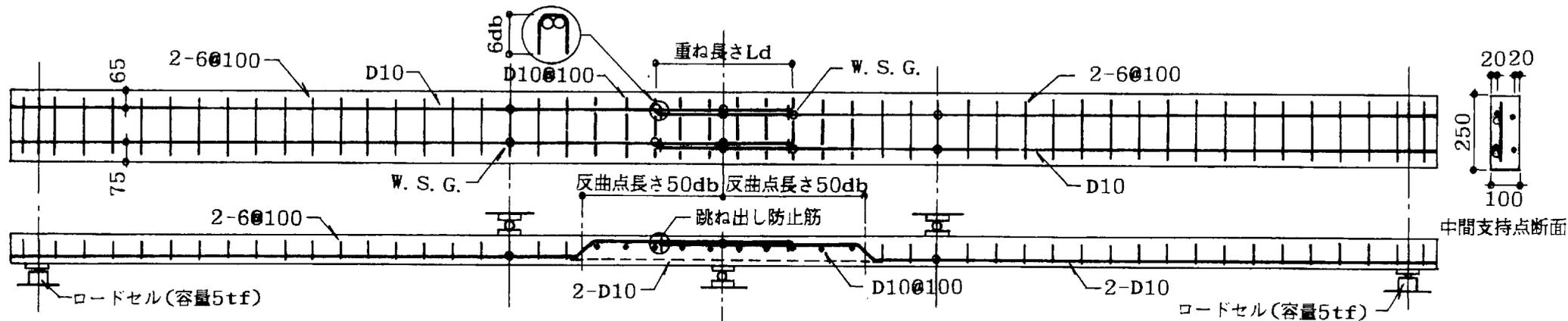
註) かぶり寸法は20mmとして算定した。



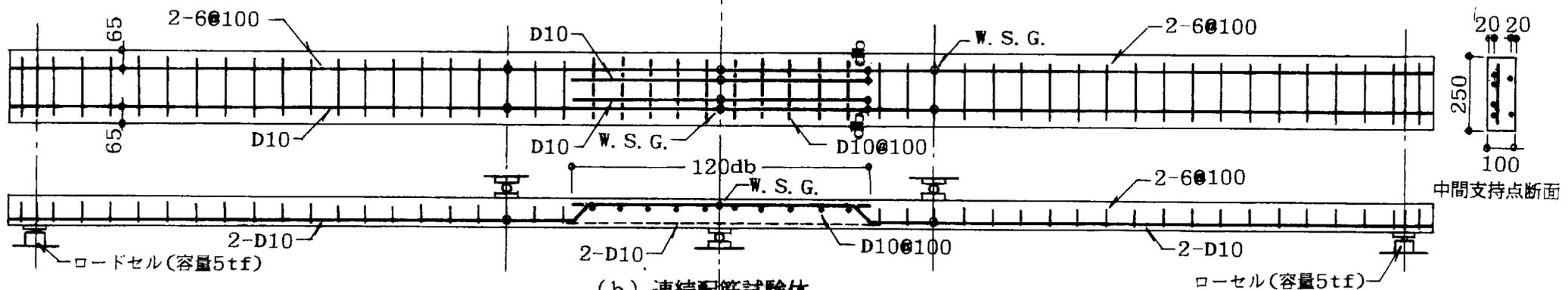
$$bci = (2\sqrt{2d_c - d_b}) / d_b$$

$$\therefore \tau_{co} = (0.4bi + 0.5)\sqrt{\sigma_B} \quad (bi = bci)$$

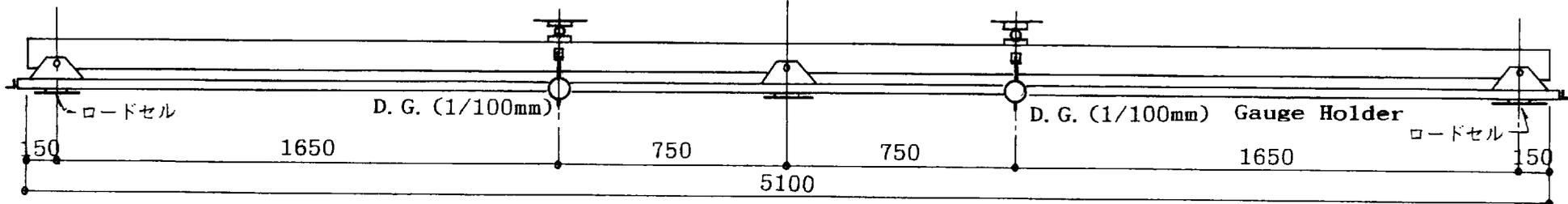
跳ね出し防止筋(6φ)



(a) 重ね継手試験体

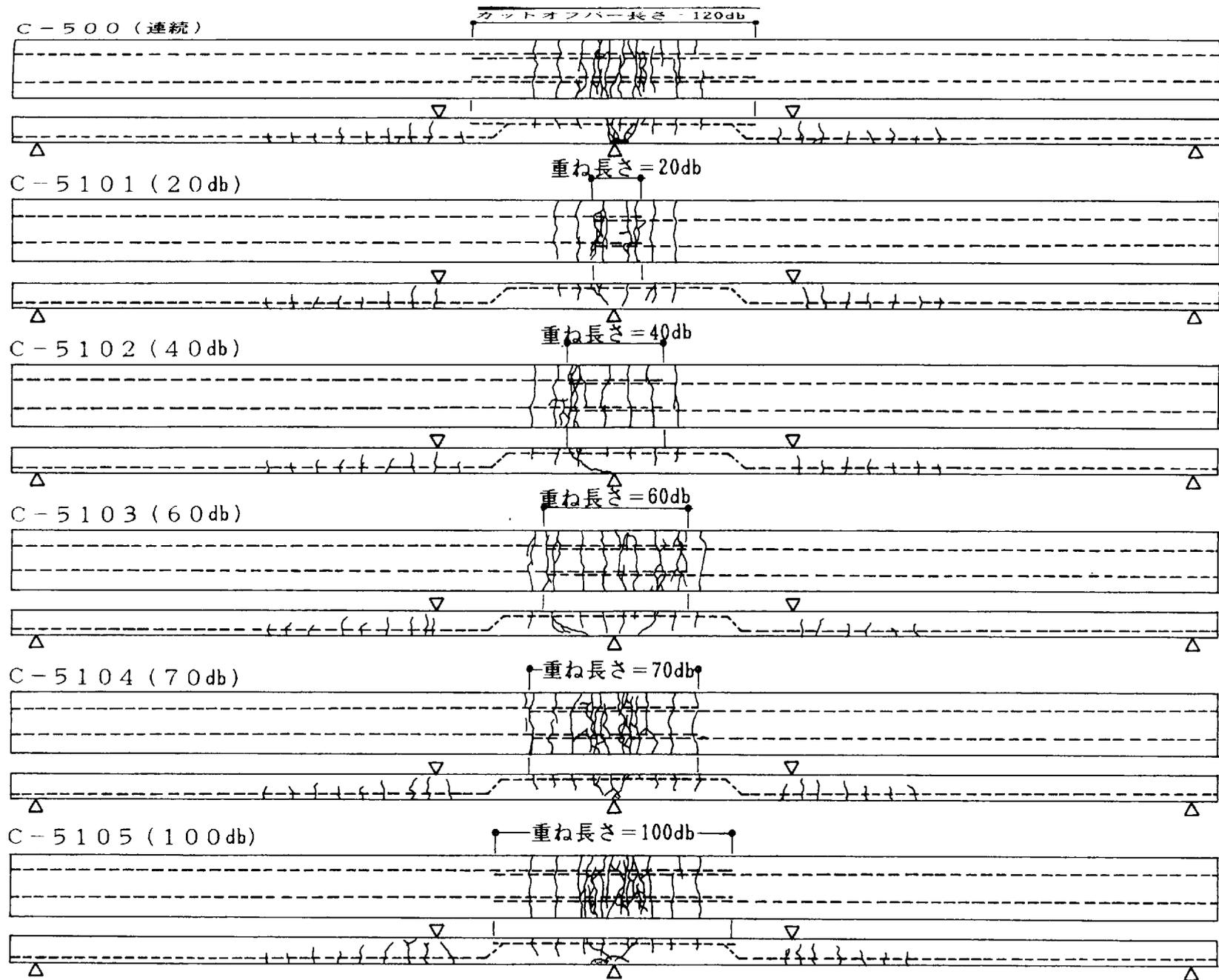


(b) 連続配筋試験体



(c) 加力及び測定装置図

図Ⅲ.3.2 試験体詳細図



図Ⅲ.3.3 代表的破壊状況

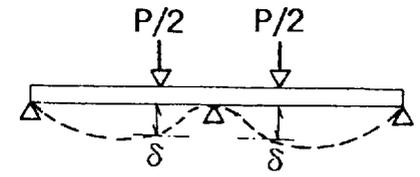
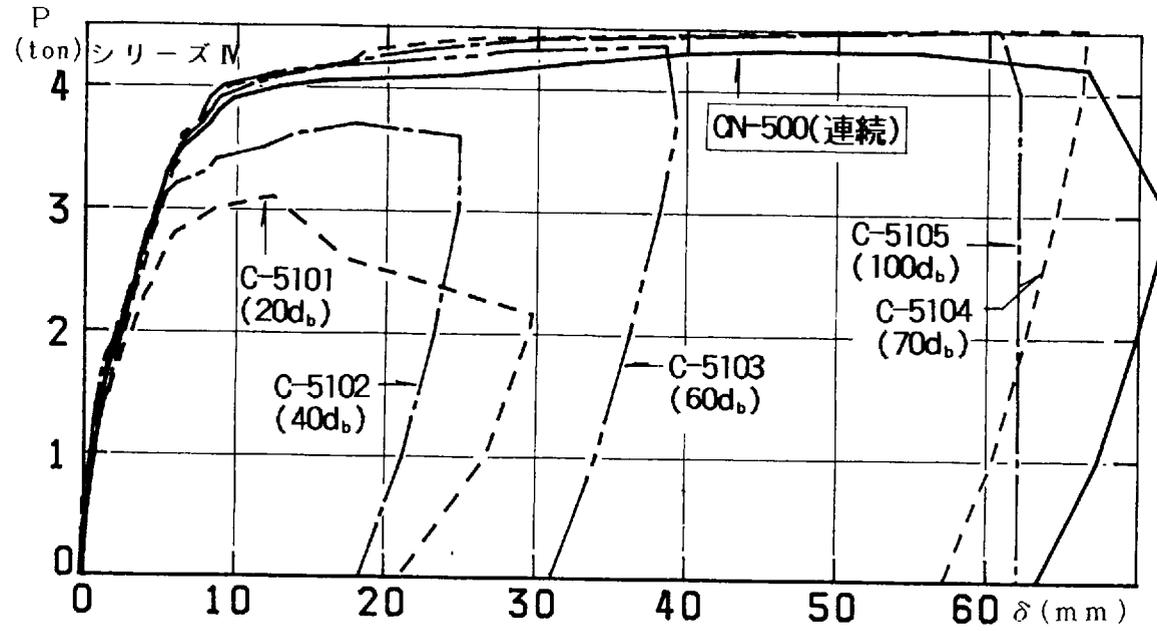
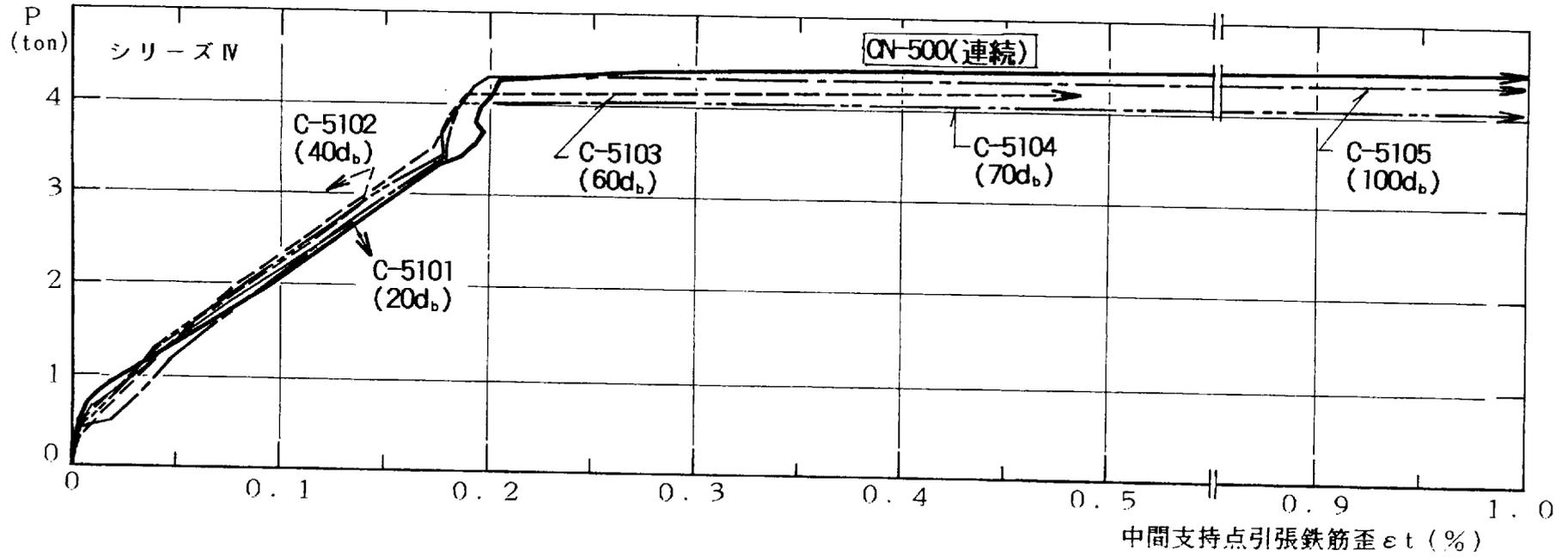


図 III. 3. 4 荷重・変形包絡線



図Ⅲ.3.5 荷重・中間支持点引張鉄筋歪図

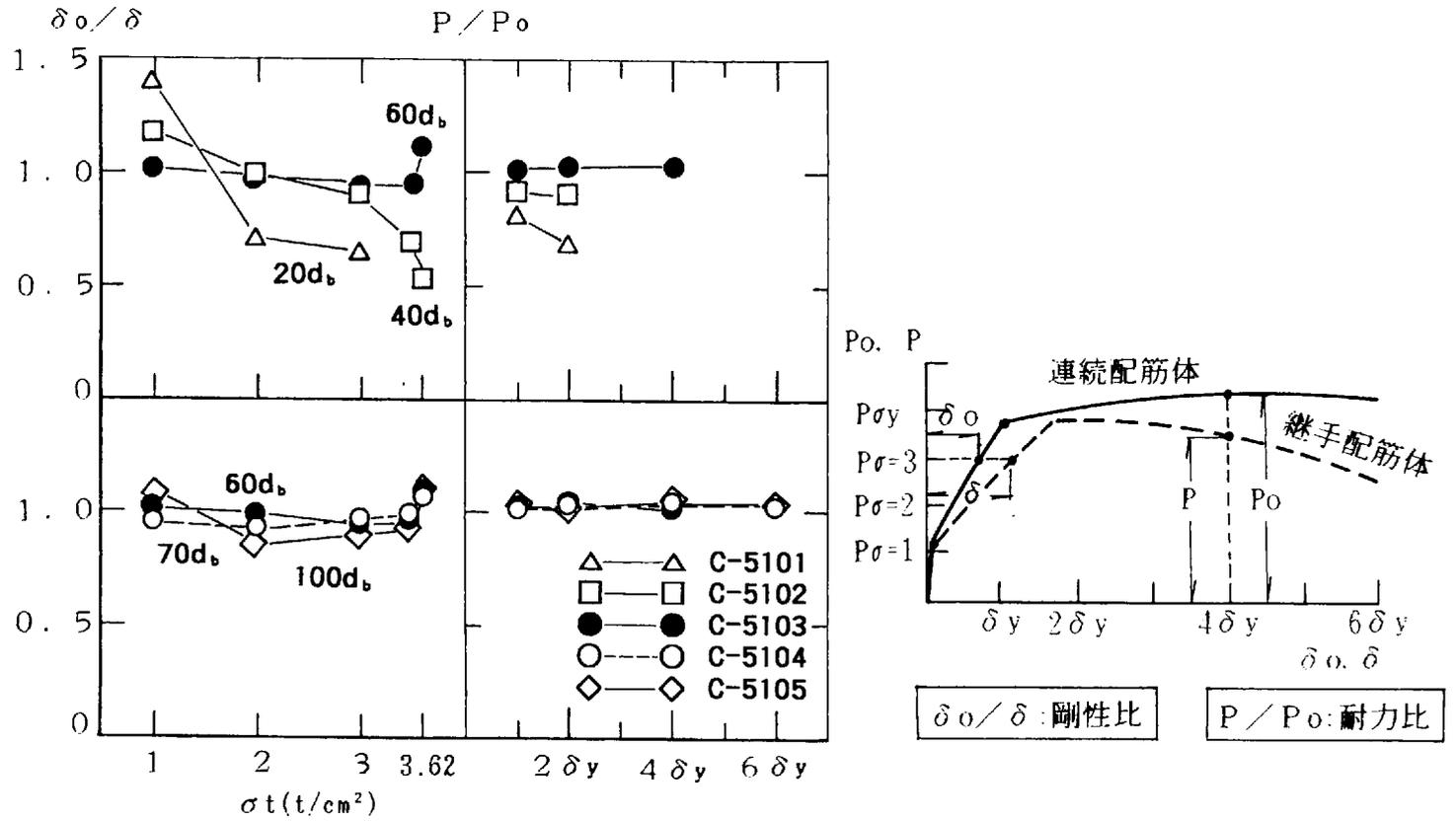
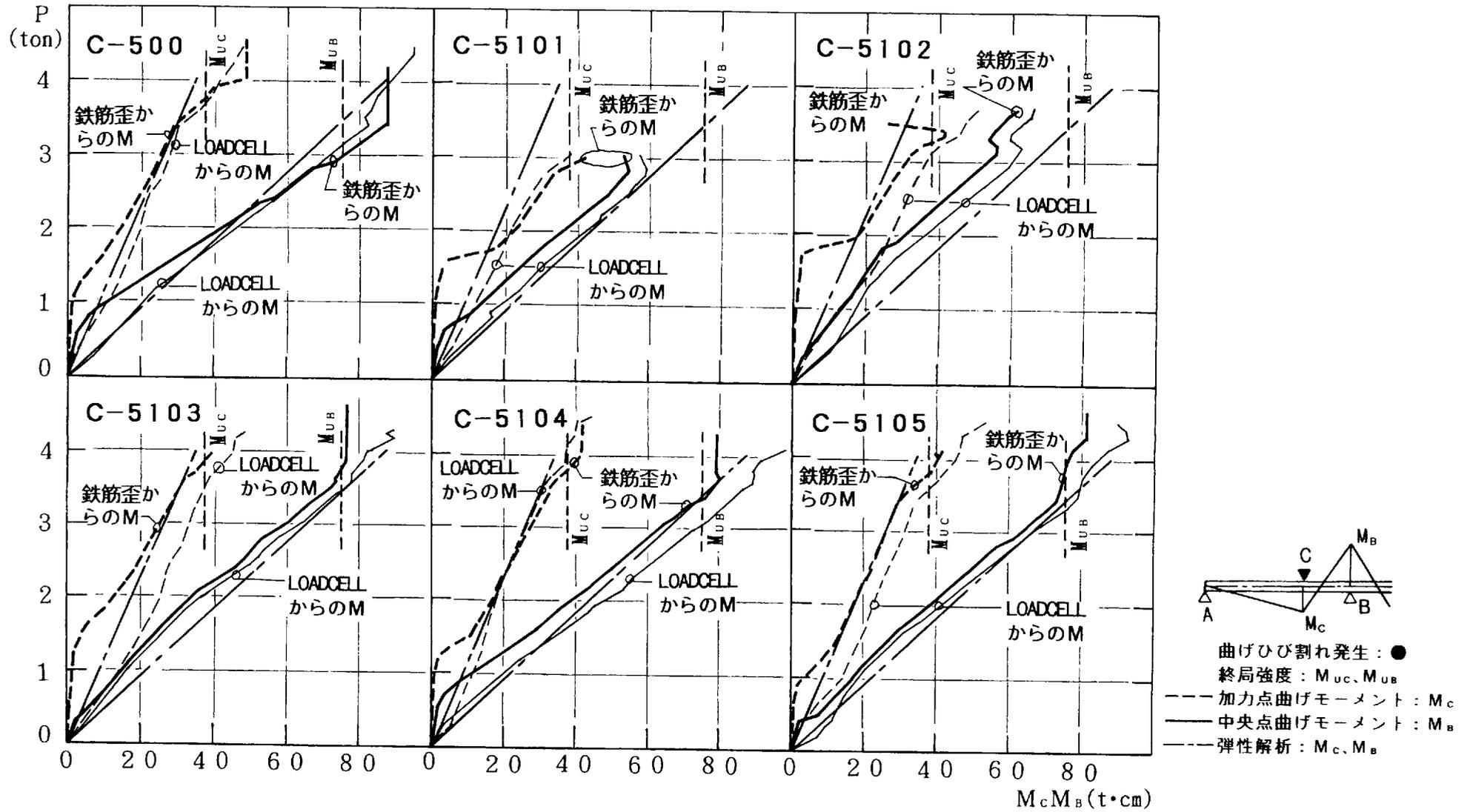


图 III. 3.6 刚性比 · 耐力比



図Ⅲ.3.7 荷重-モーメント関係

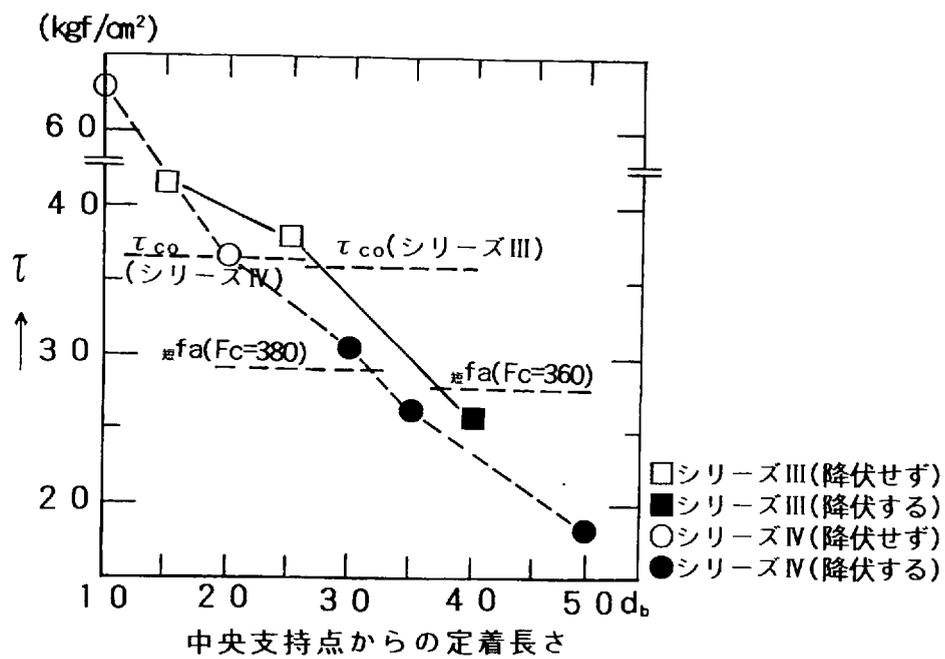


図 III. 3. 8 平均付着応力度

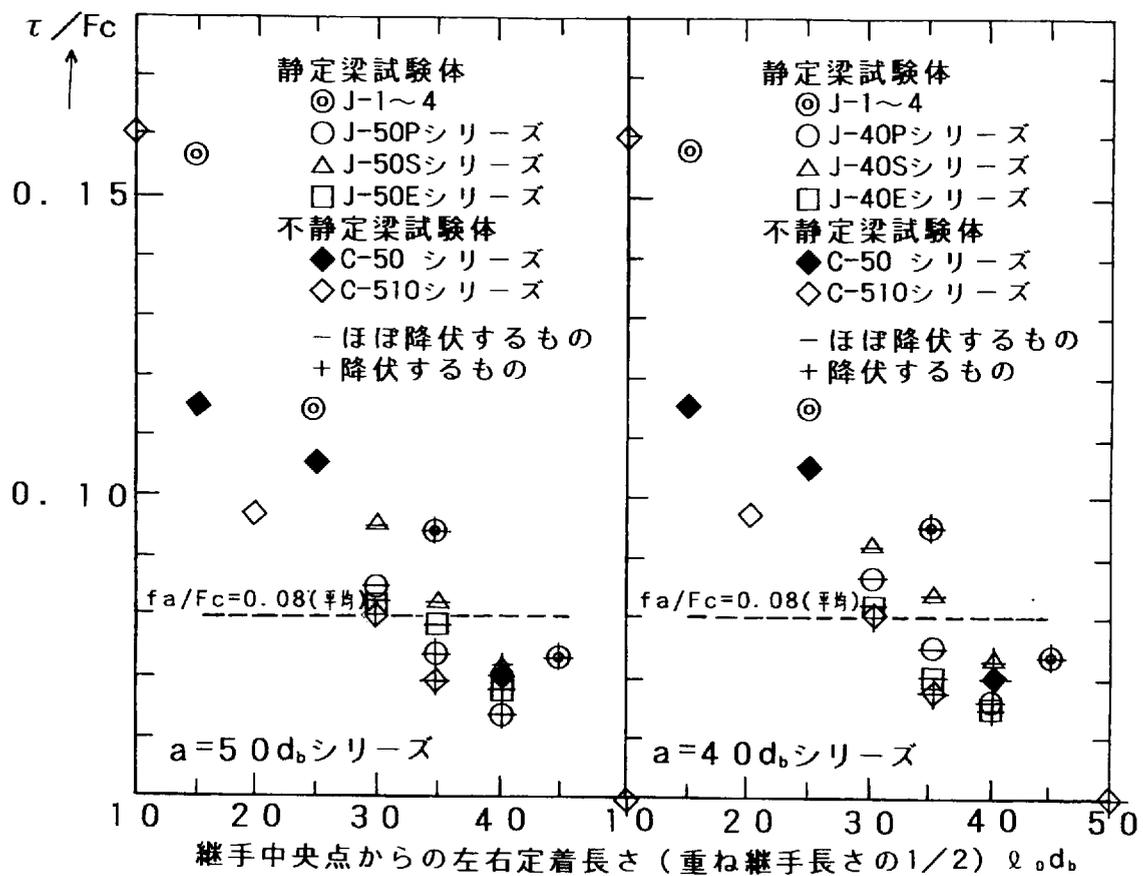
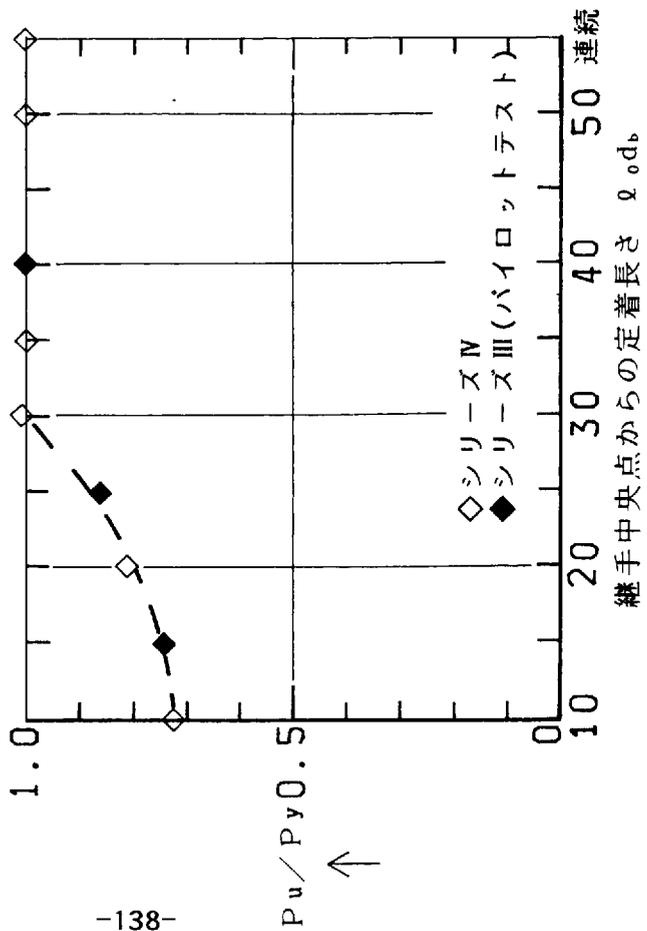
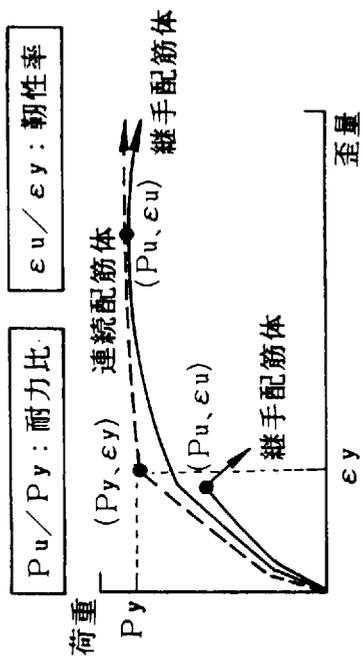
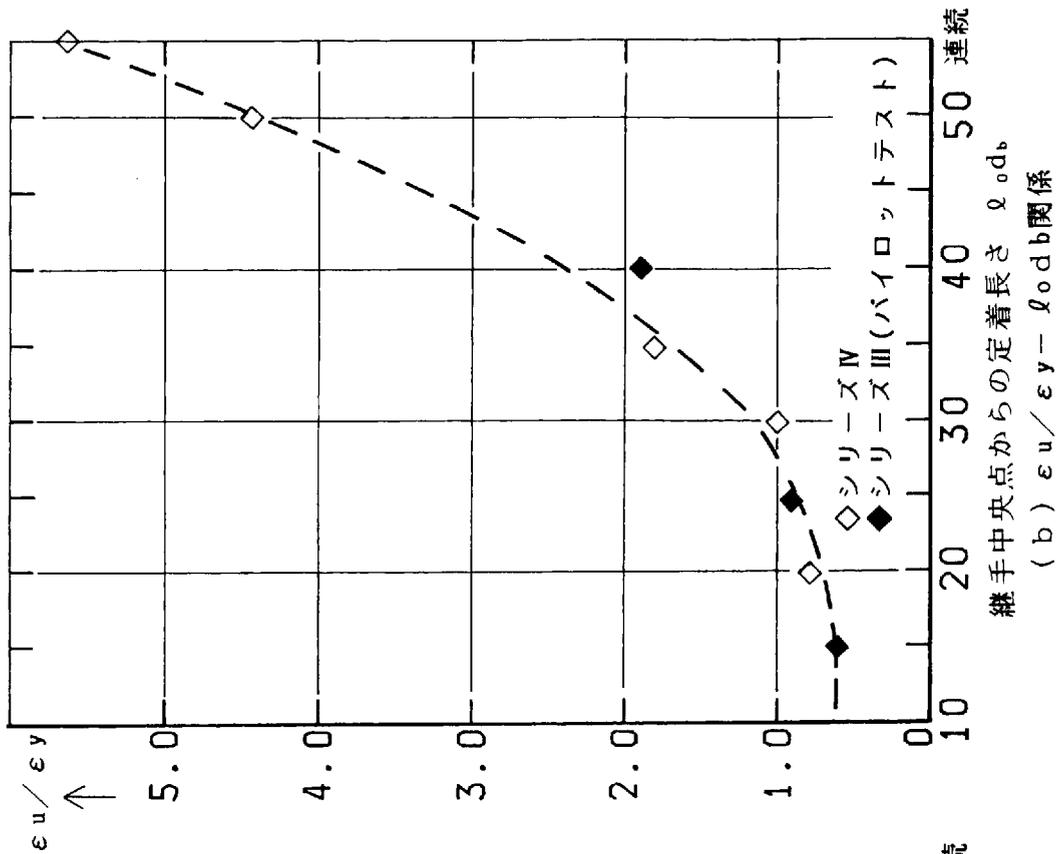


図 III. 3. 9 $\tau / F_c - \ell_0 d_b$ 関係



(a) $P_u/P_y - l_{od}b$ 関係
継手中央点からの定着長さ $l_{od}b$



(b) $\epsilon_u/\epsilon_y - l_{od}b$ 関係
継手中央点からの定着長さ $l_{od}b$

図III.3.10 $P_u/P_y, \epsilon_u/\epsilon_y - l_{od}b$ 関係

第4節 連続スラブ中間支点到に設けた重ね継手長さの提案

4.1 連続スラブ中間支持点のモーメントピーク点に設ける重ね継手長さの提案

前節3.2.4(8)の検討を、更に既往の静定の単純ばり試験結果にも適用してみる。さきの単純ばり試験では、継手中央よりの定着長さ（重ね継手長さの1/2）を $10d_b \sim 40d_b$ に、またせん断スパンを $60d_b \sim 40d_b$ の範囲で検討している。図Ⅲ.4.1a)～g)には、実験計画で設定した定着長さ($\ell_0 d_b$)を縦軸に、その試験時の σ_y, F_c 値を用いてAIJ式から求めた定着長さ($\ell' d_b = \frac{\sigma_y}{4f_a} d_b$)を横軸にプロットし、プロットのマークは静定ばり試験の場合、降伏もしくはほぼ降伏するものを■、降伏しないものを□に、不静定ばり試験体の場合、十分に降伏したものを●、丁度降伏したものを◎、降伏しなかったもの○と区別し、静定ばり試験体における各せん断スパンに対応する不静定ばり試験体の結果を図示した。ここに十分に降伏したものと、実験のP- δ 図およびP- ϵ 図で P_u が連続配筋体の降伏荷重 P_y 以上かつ ϵ_u が $2\epsilon_y$ 以上であるものとした。図中にはAIJ式から求まる定着長さ $\ell' d_b$ をそのまま定着長さ $\ell_0 d_b$ とした $\ell_0 = \ell'$ ライン、 $\ell' d_b$ に $5d_b$ を加えた $\ell_0 = \ell' + 5$ ライン、更に $10d_b$ を加えた $\ell_0 = \ell' + 10$ ラインをそれぞれ示した。

図Ⅲ.4.1a)～g)の各図より、静定ばりにおける降伏もしくはほぼ降伏するとした供試体の定着長さは、不静定ばりにおける耐力同等かつ靱性十分とした供試体のそれにほぼ対応することが、なおかつこれらの供試体はおおむね $\ell_0 = \ell' + 5$ ライン上に位置することが認められる。

以上のことから強度比 P_u/P_y が1以上保持でき、かつ靱性率としてはほぼ2を確保するためにはAIJの f_a 規定値を用いた算定式 $\ell' d_b = \frac{\sigma_t}{4f_a} d_b$ (σ_t :鉄筋の引張応力度、 f_a :短期許容付着応力度)に、更に $5d_b$ を加えた $\ell_0 d_b = (\frac{\sigma_t}{4f_a} + 5)d_b$ 程度を左右への定着長さとした、すなわち重ね長さを $2(\frac{\sigma_t}{4f_a} + 5)d_b$ とした重ね継手が適切であるといえる。(図Ⅲ.4.2参照)

なお実用配筋としては重ね長さにはり幅の影響や、モーメント分布の影響すなわちM図の反曲点位置の考慮も必要で、これらを含めて提案は図Ⅲ.4.2のようになる。すなわち図Ⅲ.4.2に示すように、重ね長さは $2(\frac{\sigma_t}{4f_a} + 5)d_b +$ はり幅以上、かつ継手の自由端は、はり側面より $1/2\ell_0$ の点を超えて定着されていることが

必要となる。

4.2 適用範囲の検証

一連の実験は、コンクリートの $F_c=303\sim 380\text{kgf/cm}^2$ 、鉄筋の $\sigma_y=3.62\sim 4.12\text{tf/cm}^2$ 、鉄筋径D6 およびD10の範囲で行われており、コンクリート強度 $F_c=200\sim 300\text{kgf/cm}^2$ の範囲および鉄筋降伏点 $\sigma_y\geq 4.0\text{tf/cm}^2$ の場合についての提案配筋の性状は確かめられていない。しかし一般の鉄筋コンクリートスラブであれば鉄筋径、コンクリート強度、鉄筋降伏強度は実験の条件にはほぼ近いものと思われるので、筆者の提案は受け入れられるものと考えられるが以下に、これらについての検証を行う。

4.2.1 鉄筋径および鉄筋強度の検証

提案の定着長さ（あるいは重ね長さ）は、AIJの定着・継手長さ算定用の f_a 値に基づいている。AIJの f_a 値は鉄筋径に拘らず定められており、その安全率は、一般に細径鉄筋に対しては高く、太径鉄筋に対しては低いと評価されている。本論（第II章第3節(8)）の検討によると、AIJによる f_a 値の鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針における付着割裂強度 τ_{co} に対する安全率は、D10を用い、かぶり1.5cm（ $\cong 1.5d_b$ ）の場合、 $\tau_{co}/f_a=1.28$ 、D13を用い、かぶり2.0cm（基準法最小規定値）の場合、 $\tau_{co}/f_a=1.31$ 、D16、D19でかぶり2.0cmの場合は、それぞれ $\tau_{co}/f_a=1.13$ 、1.01となる。したがって本提案はD10、D13程度の細径鉄筋のスラブ配筋に対して有用であり、より太い鉄筋に対して、本提案式そのままの適用は不可で、更に検討されるべきである。

また鉄筋強度については、 $\sigma_y=3.62\sim 4.12\text{tf/cm}^2$ の範囲で行われており、 $\sigma_y\geq 4.0\text{tf/cm}^2$ の場合についての提案配筋の性状は確かめられていない。しかし $\sigma_y>4\text{tf/cm}^2$ の鉄筋はスラブ配筋として普通使われないので、検討はそれ程必要とは思われない。

4.2.2 コンクリート強度の検証

一連の実験におけるコンクリート強度の範囲以外のコンクリート強度、特に $F_c=200\sim 300\text{kgf/cm}^2$ のコンクリートに対しては一般に常用されているコンクリート

であるから検討の必要はあろう。

本提案配筋の重ね長さはAIJの f_a 値に基づいている。したがって F_c の値が低くなれば、 f_a 値は小さく、必要な重ね長さは長くなる。その結果、提案配筋の継手起点は最大曲げモーメント点からより遠く、反曲点側に近づく事になり、より連続筋に近いものとなり、その性状、耐力、剛性は連続配筋体のそれに近づく傾向にあると言える。また通常、均等曲げモーメント下での実験で知られているように、重ね長さが短い場合にはコンクリート強度の影響を受けやすく、付着強度が大きくなる傾向¹⁰⁾が、つまり重ね長さが長くなると付着強度の値は小さく、コンクリート強度の影響は受けにくい^{23)、85)}と言えることから、本実験の範囲外の常用のコンクリート強度に対しても本提案式による配筋法を用いることは可能と推察される。

なお本論末尾に、次のような補足実験が行われた。

補足実験はシリーズII同様、断面 $25 \times 10 \text{cm}$ 、中央 $10d_b$ を支持点に、支持点より左右にせん断スパン $60d_b$ を加力点とした単純支持ばりにおいて行われた。重ね長さはコンクリート強度を $F_c = 228 \text{kgf/cm}^2$ 、鉄筋をSD295($\sigma_y = 3750 \text{kgf/cm}^2$)のD10とした重ね長さ $90d_b$ (AIJの f_a 値を用いた定着継手長さ)および $100d_b$ (本提案式による重ね長さ)の2種を中央支持点上に設けた重ね継手試験体および比較用の連続配筋体の2種である。実験は常用されているコンクリート強度($F_c = 200 \sim 300 \text{kgf/cm}^2$)に対しても、本提案式が有効かどうかの検討を行ったものである。

結果は荷重変形関係では、重ね長さ $90d_b$ 、 $100d_b$ 共に連続配筋体と同等の剛性、耐力を示し、特に $100d_b$ は十分な変形能を得られた。また中央点上の引張鉄筋歪は連続筋の挙動に追従し、連続配筋体同様、十分な伸び($90d_b$ 供試体では $\varepsilon_{max} = 2.90\%$ 、 $100d_b$ 供試体では $\varepsilon_{max} = 3.19\%$)を示した。また中央点からの定着長さと最大荷重時付着応力度の関係図では $\tau_{90d_b} = 20.8 \text{kgf/cm}^2$ 、 $\tau_{100d_b} = 18.8 \text{kgf/cm}^2$ となり、共に μf_a ($F_c 228$ の場合、 $\mu f_a = 22.6 \text{kgf/cm}^2$)値より下に位置する。更に図III.4.1の $a = 60d_b$ 、P型試験体の $l_0d_b - l'd_b$ ($\sigma_s / 4f_a$)関係図にプロットすると、それぞれ $l_0 = (l' + 5d_b)$ LINE上に位置する。

これらの補足実験からも見られるように、 $F_c = 230 \text{kgf/cm}^2$ 、 $\sigma_y = 3.75 \text{tf/cm}^2$ の場

合でも、提案配筋は連続配筋体と同等の性質を持つことが示されている。なお今後 F_c と σ_y の組み合わせを増して更に詳細な確かめが必要と思われる。

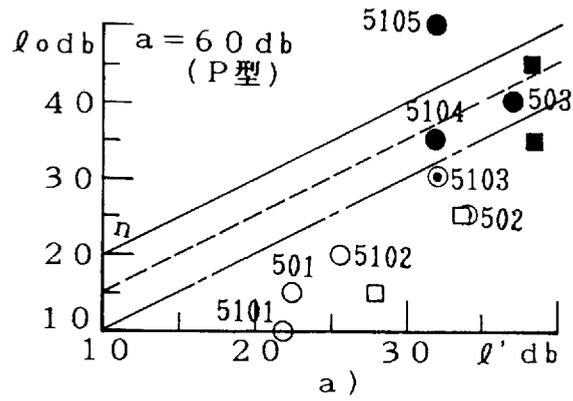
4.2.3 適用範囲での付帯条件

なお、実設計ではスラブが両端完全固定になる場合はまれで、不完全固定で、負正モーメント比が2:1以上で、例えば1.5:1、1:1という場合も有り得る。その場合には上端筋は提案の配筋を行い、下端筋が不足するから専用の下端筋の補足が有れば良いと考えている。また本実験では、重ね継手自由端にはねだし防止筋が配筋してあり、靱性向上には貢献しているように見られるので、本提案にはねだし防止筋（図Ⅲ.3.2参照）の配筋を付帯条件とするのが良いと考える。

4.3 結 論

連続スラブの中間支持点上の上端筋に重ね継手を設け、それが十分な重ね長さを取ることににより鉄筋2本分の性能を発揮することが、単純支持スラブ、不静定スラブのパイロットテスト、不静定スラブの本実験の4シリーズの実験によって確認された。一連の実験結果に基づき、そのような場所に用いる重ね継手の配筋法と、継手長さ算定の実用式を提案した。実用式は、AIJの f_a 規定値による定着継手算定式に基づき、これを修正した $l_{od_b} = (\frac{\sigma_t}{4f_a} + 5)d_b$ の長さをはり側面より左右への定着長さとするもの、すなわち $\{2 \cdot (\frac{\sigma_t}{4f_a} + 5)d_b + \text{はり幅}\}$ を重ね長さとした重ね継手が適切であるとするものである。この重ね継手は強度比 P_u/P_y が1以上保持でき、かつ靱性率 $\mu_s = \epsilon_u / \epsilon_y$ が2以上確保することができる。またこの重ね継手は静定の単純支持ばり実験によって、継手が上端筋であり、かつ直交方向の拘束がない付着に不利な場合でも十分であることが確かめられている。

なお実用配筋としては重ね長さにはり幅の影響や、モーメント分布の影響、すなわちM図の反曲点位置の考慮も必要で、これらを含めて提案は重ね長さは $\{2 \cdot (\frac{\sigma_t}{4f_a} + 5)d_b + \text{はり幅}\}$ 以上、かつ継手の自由端は、はり側面より $1/2l_e$ (l_e : 連続ばりにおける弾性解析による反曲点までの長さ)の点を超えて定着されていることが必要となる。



静定梁試験体
 □ 降伏せず
 ■ 降伏もしくはほぼ降伏する

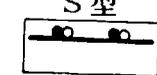
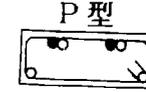
不静定梁試験体
 ○ 降伏せず
 ⊙ 丁度降伏する
 ● 十分に降伏する

— $l_0 = l'$ LINE
 - - - $l_0 = (l' + 5 \text{ db})$ LINE
 — $l_0 = (l' + 10 \text{ db})$ LINE

註) 1. 継手配筋体(静定梁)

スターラップ型補強

直交型補強



直交筋内側

直交筋外側

2. a : せん断スパン

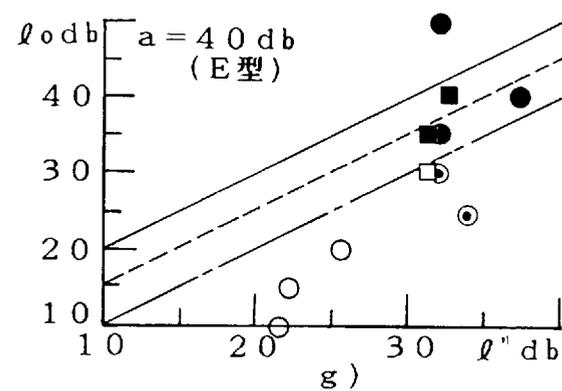
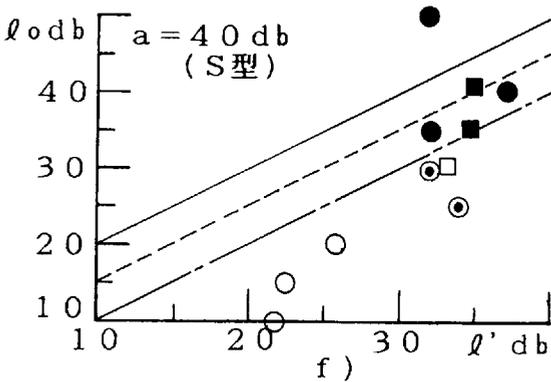
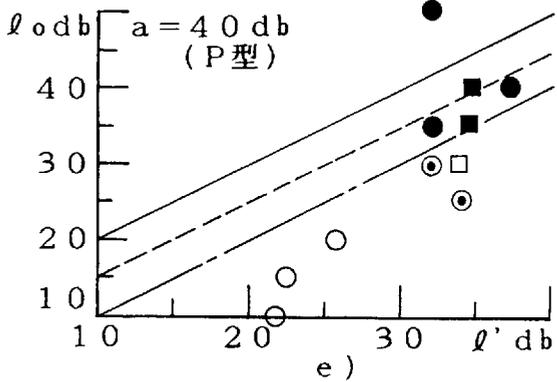
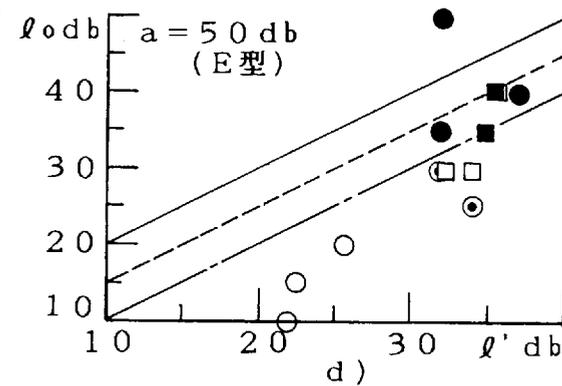
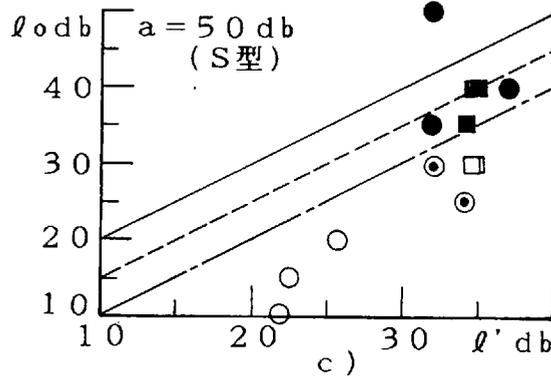
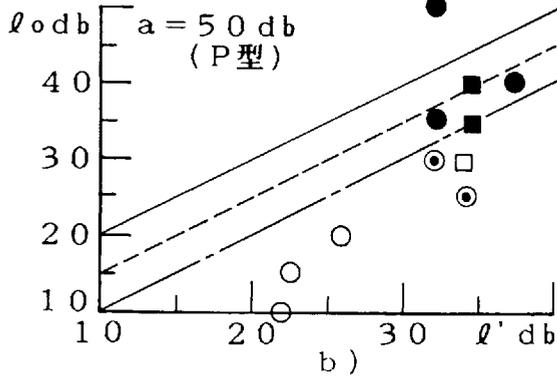


図 III. 4. 1 $l_0 db - l' db (\sigma t / 4fa)$ 関係

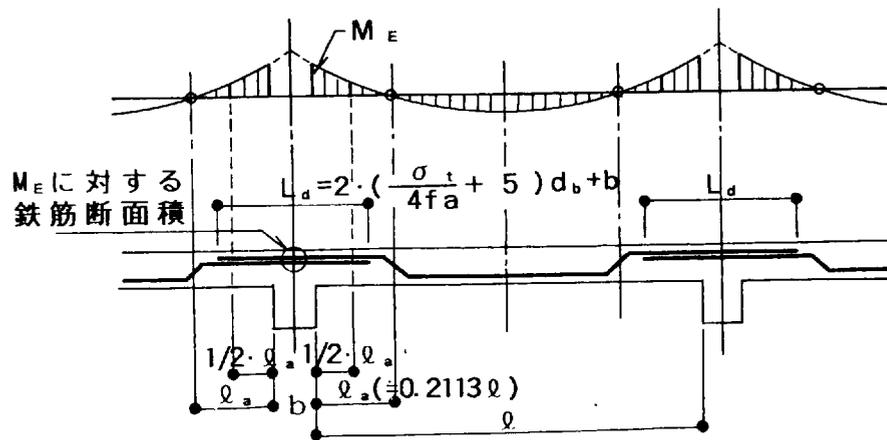


図 III . 4 . 2

第Ⅳ章 結 び

本研究は第Ⅰ章第Ⅰ節の本研究の背景および第Ⅱ節の本研究の意図などの叙述に基づいている。本来接合しようとする鉄筋一本の耐力を伝達するとした重ね継手を、均等曲げモーメント下で継手の重ね長さが十分に長い場合に、継手中央で2倍の鉄筋量の連続筋に相当すると同様な状態であるとした知見を、見方を替えることでこれらの重ね継手が重ね長さの中央からの定着とも考えられるとした点を特徴とする。特に本研究では曲げモーメント勾配のある部材の最大曲げモーメントピーク点に、この種の重ね継手の中心を合わせて配筋することで、重ね継手部分に2本分の鉄筋力を発揮させることを目的とした。この時に懸念されたせん断力の重ね継手への影響も二、三の文献からの有用な裏付けに基づいて検討がなされた。その上で、この種の重ね継手の可能性を確認するために、部材各点の応力が確実に特定できる静定の単純ばり形式を選び、コンクリート打設時の継手部の位置、せん断スパン、直交筋の位置（直交筋が内側か、外側か）、直交筋の種類などの条件下で実験を行った。その結果、直交筋の位置・種類の影響は重ね長さが短い場合には多少見られるが、重ね長さが $70d_b$ 以上では直交筋による効果に差異は認められず、また継手部における見かけの付着応力度から、 μf_a で求められる左右定着長さから決まる重ね継手は、モーメントピーク点に2本分の連続筋を配筋した場合と同耐力を持たせるための必要長さの限界に近いことが認められた。更に静定ばりの結果を基に、実際に即した不静定の2スパン連続スラブの中間支持点上の上端筋に、この種の重ね継手を設け実験を行った。その結果、連続配筋体と耐力、剛性が同等であるためには重ね長さとして $50\sim 60d_b$ が、靱性率2程度を持つためには重ね長さ $70\sim 80d_b$ が必要であることを指摘した。これらの重ね長さは共に最大荷重時の付着応力度の上限がRC規準の定着長さ算定用の許容付着応力度程度であり、また終局強度型耐震設計指針による付着割裂強度に対しても適切な安全率を示すことを明らかにした。

これらの一連の実験結果に基づき、このような場所に用いる重ね継手の配筋法

と、継手長さ算定の実用式を提案した。実用式は、AIJ の f_a 規定値による定着継手算定式に基づき、これを修正した $l_{od} = \left(\frac{\sigma_s}{4f_a} + 5 \right) d_b$ の長さをはり側面より左右への定着長さとするもの、すなわち

$$L_{od} = \{ 2 \cdot \left(\frac{\sigma_s}{4f_a} + 5 \right) d_b + \text{はり幅} \}$$

を重ね長さとした重ね継手が適切であるとするものである。この重ね継手は、強度比 P_u/P_v が 1 以上保持でき、かつ靱性率 $\mu_s = \epsilon_u / \epsilon_v$ が 2 以上確保することができる。またこの重ね継手長さは静定の単純支持ばり実験によって、継手が上端筋であり、かつ直交方向の拘束がない付着に不利な場合でも十分であることが確かめられている。

なお、一連の実験は、コンクリート強度の $F_c = 303 \sim 380 \text{ kgf/cm}^2$ 、鉄筋の $\sigma_s = 3.62 \sim 4.12 \text{ tf/cm}^2$ 、鉄筋径 D6 および D10 の範囲で行われている。提案の定着長さは AIJ の定着・継手長さ算定用の f_a 値に基づいている。鉄筋径に関しては、AIJ の f_a 値の鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針における付着割裂強度 τ_{co} に対する安全率を明らかにした上で、本提案式は D10、D13 程度の細径鉄筋のスラブ配筋に対して有用であり、より太い鉄筋については安全率が低くなり、本提案式そのままの適用は不可で、更に検討されるべきであることを指摘した。また常用のコンクリート強度 $F_c = 200 \sim 300 \text{ kgf/cm}^2$ に対しては、実験の範囲を外れるが、本提案配筋の重ね長さは AIJ の f_a 値に基づき、 F_c 値が低くなれば、 f_a 値は小さく、必要な重ね長さは長くなる。その結果、提案配筋の継手起点は最大曲げモーメント点より遠く、反曲点側に近づくことになり、より連続筋に近いものとなり、その性状、耐力、剛性は連続配筋体のそれに近づく傾向にあると言える。また付着応力度に対しても、 F_c 値が低くなれば必要重ね長さが長くなることで小さく、コンクリート強度の影響は受けにくいと言える。また巻末の補足実験の結果も合わせて、本実験の範囲外の常用のコンクリート強度に対しても、本提案式による連続スラブの配筋法は鉄筋量を節約し、配筋を簡素化することが十分に可能であることを確信する。

なおここで提案した配筋法は鉛直荷重下の連続スラブ中間支持点上の負最大曲

げモーメント域を対象とするが、その場合にも短期水平荷重による逆対称モーメントの影響など考慮すべき事があるか否か、またより太い鉄筋を対象に、連続小ばりの中間支持点上の配筋に用いようとする場合等々、今後の検討を期する所存である。

[補足実験]

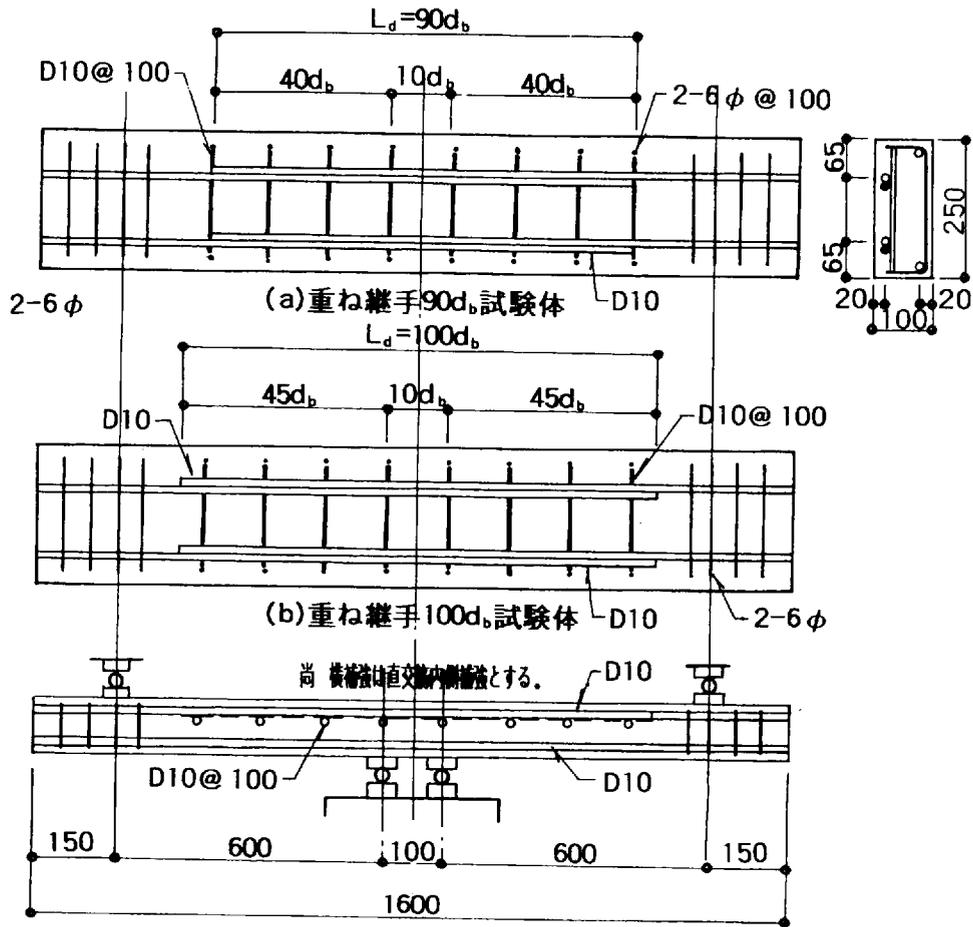
ここに示す補足実験は、常用されるコンクリート強度 ($F_c=200\sim 300\text{kgf/cm}^2$) 下でも本論の提案式による重ね継手が成立するかどうか、曲げモーメントピーク点に重ね継手を設けた静定の単純支持ばり実験による確認を目的としたものである。

補足実験はシリーズII同様、断面 $25\times 10\text{cm}$ 、中央 $10d_b$ を支持点に、支持点より左右にせん断スパン $60d_b$ とした単純支持ばり供試体による一方向載荷実験である。これらの供試体の重ね継手は中央支持点上の上端引張筋に配筋され、重ね長さは設計時のコンクリート強度を $F_c=210\text{kgf/cm}^2$ (実施時 $F_c\approx 228\text{kgf/cm}^2$) とし、主筋をSD295 ($\sigma_y\approx 3750\text{kgf/cm}^2$) のD10を用いた時の重ね長さ $90d_b$ (AIJのfa規定値を用いた定着長さ) および $100d_b$ (本提案式による) の2種である。試験体は、これらの重ね長さを持つ継手試験体および比較用の連続配筋体からなる。尚コンクリート打設は、試験部分である重ね継手を下端配置にて打設した。また荷重履歴は、特定鉄筋応力度 ($1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 3750$ ($\approx \sigma_y$)) および引張鉄筋降伏時変位 δ_y を基準に、 $2\delta_y, 4\delta_y, 6\delta_y$ にて一方向繰返し載荷とした。試験体詳細を図補.1.1、試験体一覧を表補.1.1に示した。また図補.1.2に荷重-変形関係を、図補.1.3に荷重-中央点鉄筋歪関係を、図補.1.4には最大荷重時付着応力度を、図補.1.5には $\rho_{od_b} - \rho'_{d_b}$ 関係をそれぞれ示した。

結果は、重ね長さ $90d_b$ 、 $100d_b$ の供試体共に、重ね継手起点上でのひび割れ発生を見るが、破壊につながるほど大きな進展もなく、最終的には中央支持点上にひび割れが集中、開口し、圧縮域が圧壊して最大耐力 (N-6000: $P_{max}=2.96\text{tf}$ 、J-6090: $P_{max}=2.80\text{tf}$ 、J-60100: $P_{max}=2.90\text{tf}$) に達した。荷重変形関係では、 $90d_b$ において、 $4\delta_y$ 時に耐力低下があったが、 $100d_b$ 共に連続配筋体と同等の剛性、耐力を示し、本提案式からの重ね長さ $100d_b$ を確保した供試体は連続配筋体同様、十分な変形能を示した。また中央点上の引張鉄筋歪は連続配筋体のそれに追従し、それぞれ中央点は降伏歪 (N-6000: $P_y=2.65\text{tf}$ 、J-6090: $P_y=2.45\text{tf}$ 、J-60100: $P_y=2.55\text{tf}$) に達し、連続配筋体同様十分な伸び ($90d_b$ 供試体では $\varepsilon_{max}\approx 2.90\%$ 、 $100d_b$ 供試体では $\varepsilon_{max}\approx 3.19\%$) を示した。また最大荷重時平均付着応力度について、これ

らの試験体を前述の図Ⅲ.2.18のシリーズⅡの $a=60d_b$ 、P型試験体の場合と比較し、また実験時および計画時の重ね長さの関係について、図Ⅲ.4.1の $a=60d_b$ (P型)試験体の場合と比較して、それぞれ結果をプロットしたのが図補.1.4、図補.1.5である。中央点からの定着長さと最大荷重時付着応力度の関係図によると重ね長さ $90d_b$ では $\tau_{90d_b}=20.8\text{kgf/cm}^2$ 、 $\tau_{100d_b}=18.8\text{kgf/cm}^2$ となり、共に μfa 値(F_c 228の場合、 $\mu fa=22.6\text{kgf/cm}^2$)より下に位置し、これらの重ね継手は連続筋と同耐力を発揮することが確認され、さらに本提案式とした $(\ell'+5d_b)$ Line上に位置していることが分かる。

これらのことから、 F_c の値が低くなれば、 fa 値が小さく、本提案式からの必要な重ね長さは長くなり、継手起点は最大曲げモーメント点から離れることとなり、その結果、重ね継手はより連続配筋に近い状態となり、性状も連続配筋体に近づく傾向にあると言える。

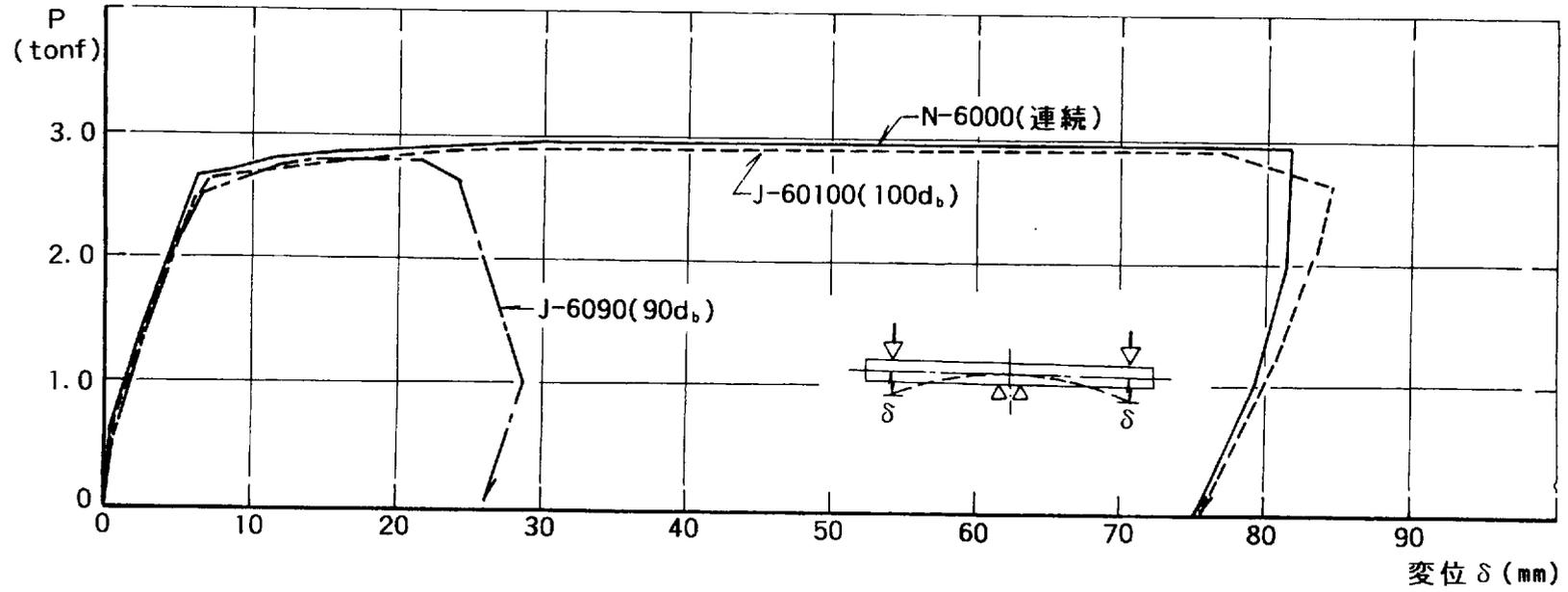


図補. 1.1 補足実験試験体詳細図

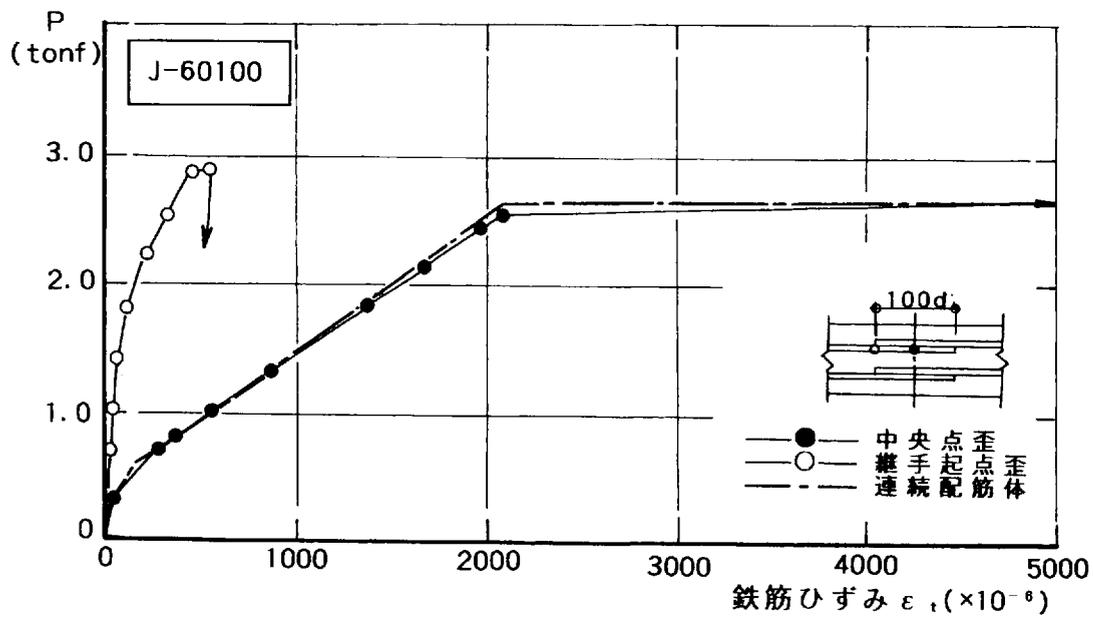
表補. 1.1 試験体一覧

試験体名	せん断 スパン	実験時 F_c (kgf/cm^2)	引張鉄筋	継手長さ
N-6000	60 d_b	228	4-D 10	継手なし
J-6090			2-D 10	90 d_b 支持点より左右定着長さ : 40 d_b
J-60100			2-D 10	100 d_b : 45 d_b

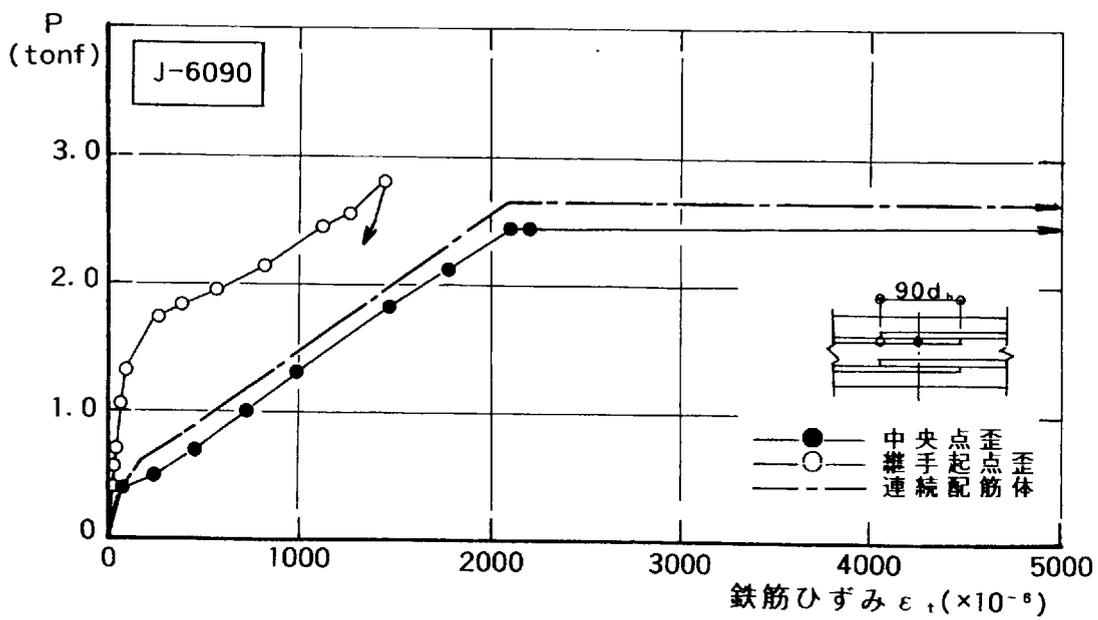
註 1) $L_d=90d_b$: AIJの f_a 値を用いて算定 [$L_d=2 \cdot \sigma_s / (4f_a) + 10d_b$]
 2) $L_d=100d_b$: 本提案式 [$L_d=2 \cdot \{ \sigma_s / (4f_a) + 5 \} + 10d_b$] を用いて算定



図補. 1.2 荷重 - 変形関係



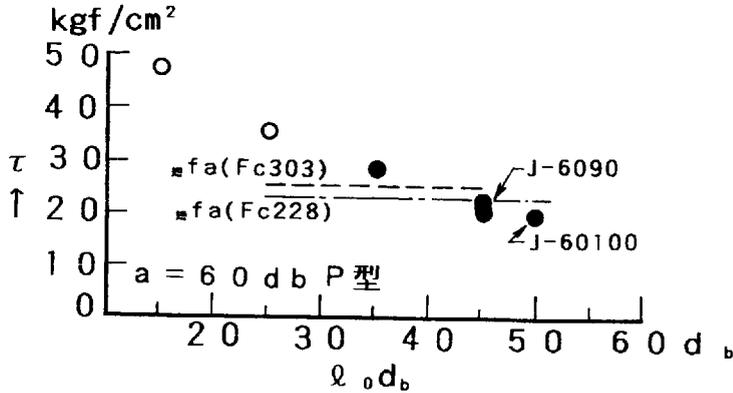
(a) 荷重 - 鉄筋歪関係-1



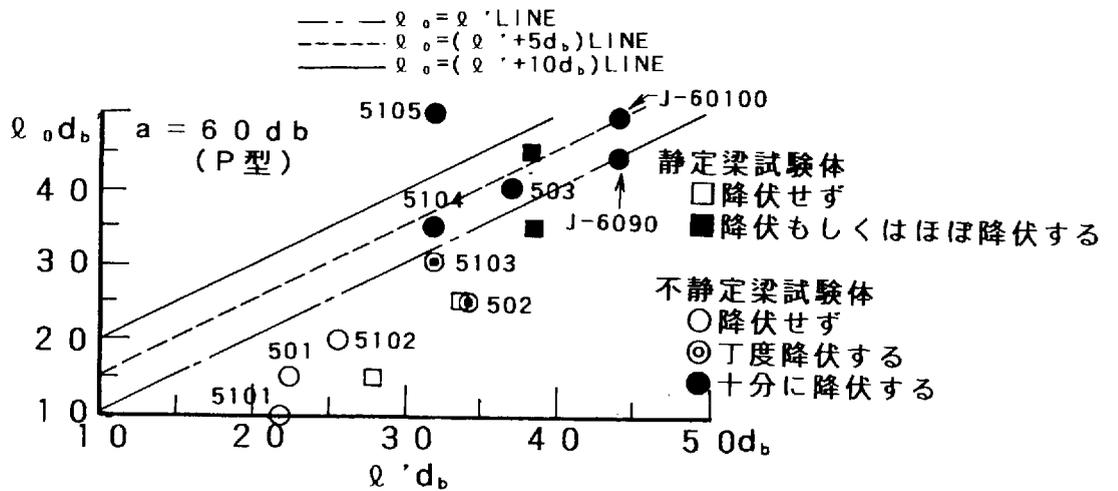
(b) 荷重 - 鉄筋歪関係-2

図補. 1.3 荷重 - 中央引張鉄筋歪関係

- : 降伏せず $\sigma / \sigma_y < 0.95$
- △: ほぼ降伏する $\sigma / \sigma_y = 0.95 \sim 1.0$
- : 降伏する $\sigma / \sigma_y \geq 1.0$
- $l_0 d_b$: 中央点からの定着長さ
($l_0 d_b = \text{左右定着長さ} + 100/2 \text{mm}$)



図補. 1.4 中央点からの定着長さと最大荷重時付着応力度



図補. 1.5 $l_0 d_b - l' d_b (\sigma_t / 4fa)$ 関係

謝 辞

本研究は、道都大学着任後、昭和63年より明治大学小倉弘一郎博士の御示唆により行ったものであり、本研究開始以来、終始御懇なる御指導を賜りました。また明治大学亀田登与三郎先生には実験に際しての御指導、御助言を得ました。ここに心底より御礼申し上げます。

本論文執筆に当り、明治大学理工学部教授狩野芳一博士には教務担当理事という多忙の中、貴重な時間をさいてのご指導を承りましたことに心底より御礼を申し上げます。また前道都大学学長小池東一郎博士には終始温かい御理解と励ましをいただき、また道都大学教養部教授三谷雅史博士には貴重な御助言をいただきました。ここに厚く感謝の意を表する次第であります。

更に、本研究を進めるに当っては道都大学着任以来、卒業論文のテーマとして、建築学科の学生諸君の多大な御協力を得られたことは、私にとって、将来にわたり、何よりの力となってくれたことに、卒業生の皆様に心から感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 武藤 清、小倉弘一郎、安蒜忠夫「繰り返し応力を受ける新型異形鉄筋継手の耐力(その1)」日本建築学会研究報告第18号(1952.5) pp.107
- 2) 武藤 清、小倉弘一郎、湯浅圭郎、岡田 茂「繰り返し応力を受ける新型異形鉄筋継手の耐力(第2報)」日本建築学会研究報告第21号(1953.3) pp.1
- 3) 武藤 清、小倉弘一郎「新型異形鉄筋重ね継手の耐力(重ね長さ16dの場合)」日本建築学会研究報告第22号(1953.5) pp.113
- 4) 武藤 清、小倉弘一郎「新型異形鉄筋重ね継手の耐力(その3)」日本建築学会研究報告第23号(1953.8) pp.1
- 5) 渡辺義郎、山本康弘「異形三角鉄筋の引張継手に関する研究(その1)」日本建築学会論文報告集第89号(昭和38年9月) pp.149
- 6) 丸安隆和、小林一輔、伊藤利治「鉄筋コンクリートばりの重ね継手に関する実験」コンクリートライブラリー14号 pp.90
- 7) 池田尚治「鉄筋の重ね継手に関する研究」セメント技術年報'73 pp.434
- 8) 池田尚治「重ね継手に関する実験」コンクリートジャーナル vol.12、No.5、May 1974 pp.71
- 9) 池田尚治「鉄筋とコンクリートの応力伝達とその複合特性について(特に重ね継手の複合特性について)」土木学会第29回年次学術講演梗概集(5)(昭和49年) pp.1
- 10) 池田尚治、柳田 力、太田 実「鉄筋の重ね継手の耐力特性に関する研究」土木学会第30回年次学術講演梗概集(5)(昭和50年) pp.341
- 11) 矢代秀雄、花井重孝、清水康介「鉄筋コンクリートばりの継手の重ね長さに関する実験的研究(曲げ圧縮破壊との比較)」日本建築学会大会学術講演概要集概集(関東)(昭和54年) pp.1221
- 12) 出雲淳一、榎本松司他「各種鉄筋継手の集中度がRC梁の疲労特性に及ぼす影響について」第3回コンクリート工学年次講演論文集(昭和56年) pp.257
- 13) 榎本松司、二羽淳一郎、岡村 甫「重ね継手の集中度がRC梁の疲労特性に及ぼす影響」第4回コンクリート工学年次講演論文集(昭和57年) pp.289
- 14) 塩尻弘雄、遠藤達己他「連続地中壁継手部曲げ特性に関する研究」第5回コンクリート工学年次講演論文集(昭和58年) pp.397
- 15) 遠藤達己、青柳征夫他「重ね継手を有する合成断面はりの曲げ特性」第6回コンクリート工学年次講演論文集(昭和59年) pp.381
- 16) 高橋義祐、角田与史雄「RCはりの重ね継手スターラップの効果について」土木学会第 回年次学術講演概要集(5)(昭和60年) pp.405
- 17) 実森伸一、西塚忠信「異形鉄筋の重ね継手における付着応力度分布と継

- 手強度」土木学会第40回年次学術講演概要集(5)(昭和60年) pp.409
- 18) 田中礼治、大芳賀義喜、但木幸男「SD50の重ね継手に関する実験研究(その1 あき重ね継手の実験)」日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)(昭和60年) pp.597
 - 19) 田中礼治、大芳賀義喜「SD50の重ね継手に関する実験研究(その2 フックなしおよびフック付き継手)」日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)(昭和61年) pp.713
 - 20) 大芳賀義喜、田中礼治「SD50の重ね継手に関する実験研究(その3 中筋のあき重ね継手の実験)」日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)(昭和61年) pp.715
 - 21) 小倉弘一郎、亀田登与三郎、佐々木仁「小径異形鉄筋を使用した重ね継手における重ね長さとの継手割合のRC部材の曲げ強度・剛性・靱性に及ぼす影響」日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)(昭和61年) pp.703
 - 22) 小倉弘一郎、亀田登与三郎、細田博幸、佐々木仁「異形鉄筋重ね継手の強度・剛性及び靱性に関する実験的研究」日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)(昭和62年) pp.141
 - 23) 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的研究」日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)(昭和62年) pp.143
 - 24) 小倉弘一郎、亀田登与三郎、佐々木仁、細田博幸「板状部材における異形鉄筋重ね継手の強度・剛性及び靱性に関する実験的研究」コンクリート工学年次論文報告集(昭和63年) pp.195
 - 25) 細田博幸、小倉弘一郎、亀田登与三郎「板状部材における異形鉄筋重ね継手の強度・剛性及び靱性に関する実験的研究(その2 重ね継手部分の引張特性)」日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)(1989年) pp.359
 - 26) 小倉弘一郎、亀田登与三郎「引抜形式による異形鉄筋の重ね継手強度試験(予備試験)」日本建築学会論文報告集第89号 pp.150
 - 27) 小倉弘一郎、亀田登与三郎「引抜形式による異形鉄筋の重ね継手強度試験(続報)」日本建築学会論文報告集第103号 pp.186
 - 28) 菅生邦孝、村山哲夫「異形鉄筋の重ね継手に関する実験」土木学会第25回年次学術講演概要集(5)(昭和45年) pp.29
 - 29) 後藤幸正、大塚浩司「異形鉄筋の重ね継手の破壊機構について」土木学会第27回年次学術講演梗概集(5)(昭和59年) pp.381
 - 30) 大塚浩司「異形鉄筋の重ね継手に関する研究(複合構造)」土木学会第31回年次学術講演梗概集(5)(昭和51年) pp.209
 - 31) 樋口芳郎、辻 正哲他「重ね継手の緊結および補強方法と強度の関係」セメント技術年報'33(昭和54年) pp.537

- 32) 辻 正哲、大津一健「重ね継手の新しい補強方法および緊結方法」セメント技術年報'34(昭和55年) pp.382
- 33) 大塚浩司「繰り返し引張荷重を受ける重ね継手の性状について」第3回コンクリート工学年次講演会論文集(昭和56年) pp.261
- 34) 大森浩司、森 慎夫「引張鉄筋の重ね継手におけるフックの効果に関する実験的研究」土木学会第36回年次学術講演梗概集(5)(昭和56年) pp.222
- 35) 辻 正哲、北島陽一「重ね継手の補強方法とコンクリートの行き渡りについて」セメント技術年報'35(昭和56年) pp.455
- 36) 大塚浩司「引張鉄筋の重ね継手におけるフックの効果に関する研究」第5回コンクリート工学年次講演論文集(昭和58年) pp.381
- 37) 真岸 巖、高橋義祐、角田与史雄他「異形鉄筋の重ね継手における横方向鉄筋の効果に関する実験的考察」土木学会第39回年次学術講演梗概集(5)(昭和59年) pp.423
- 38) 三浦 尚、鈴木和洋「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 pp.53
- 39) 角陸純一「異形鉄筋重ね継手の強度に関する研究」コンクリート工学年次論文報告集(昭和63年) pp.211
- 40) 高橋義祐、角田与史雄「異形鉄筋の重ね継手における横方向鉄筋の効果について」土木学会第43回年次学術講演梗概集(5)(昭和63年10月) pp.712
- 41) 入沢賢一、武田寿一、小島克朗「鉛直継手による地中壁の一体化に関する面外せん断実験」土木学会第40回年次学術講演梗概集(5)(昭和60年) pp.399
- 42) 小野寺満、田中礼治、大芳賀義喜「重ね継手を持つはり部材の曲げせん断実験(その1 応力の大きい部分で重ね継手した場合)」日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)(昭和62年) pp.139
- 43) 田中礼治、大芳賀義喜「重ね継手の継手位置がはり部材の力学的性能に及ぼす影響に関する実験研究」日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)(昭和63年10月) pp.345
- 44) 田中礼治、大芳賀義喜「鉄筋コンクリートはり主筋の重ね継手の継手位置に関する実験的研究」日本建築学会構造系論文報告集第396号(平成元年) pp.69
- 45) 塚越英夫、諸井陽児他「梁端部におけるフック付き重ね継手の実験的研究」日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)(1990年10月) pp.683
- 46) 津村浩三、芳村 学、黒瀬行信「鉄筋コンクリート梁の端部における重ね継手に関する実験研究」日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)(1990年10月) pp.685
- 47) 塚越英夫、諸井陽児、斎藤 量、芳村 学「はり端部におけるフック

付き重ね継手の効果」コンクリート工学年次論文報告集（1990年）pp.5
15

- 48) 角陸純一「重ね継手を有する高強度鉄筋コンクリート柱部材の構造特性に関する研究」コンクリート工学年次論文報告集（1990年）pp.399
- 49) 越前谷智、小倉弘一郎「重ね継手を最大曲げモーメント点に設けた部材の曲げ強度及び剛性に関する実験的研究」日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）（昭和63年）pp.343
- 50) 越前谷智、小倉弘一郎「重ね継手を最大曲げモーメント点に設けた部材の曲げ強度及び剛性に関する実験的研究（その2）」日本建築学会大会学術講演梗概集（九州）（1989年）pp.363
- 51) 越前谷智「重ね継手を最大曲げモーメント点に設けた部材の曲げ強度及び剛性に関する実験的研究（その3）」日本建築学会大会学術講演梗概集（中国）（1990年）pp.687
- 52) 越前谷智「重ね継手を最大曲げモーメント点に設けた床スラブの曲げ強度及び剛性に関する実験的研究」日本建築学会構造系論文報告集第433号（1992年）pp.29
- 53) 越前谷智「連続スラブの中間支持点に設けた重ね継手に関する実験的研究」日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）（1992年）pp.309
- 54) 越前谷智「連続スラブの中間支持点に設けた鉄筋重ね継手に関する実験的研究」日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）（1993年10月）pp.151
- 55) 松本信二、立都正則他「鉄筋プレファブ工法に要求される鉄筋の継手の条件」鉄筋の継手及び定着の設計施工に関するシンポジウム発表報告集（昭和51年3月）pp.77
- 56) 小林 肇、伊藤 博他「プレキャスト部材の複合目地部における鉄筋の重ね継手に関する研究」第4回コンクリート工学年次講演会論文集（昭和57年）pp.421
- 57) 太田俊昭、日野伸一他「負の曲げを受けるプレキャスト合成床板の継手に関する研究」第4回コンクリート工学年次講演論文集（1982年）pp.425
- 58) 桜田智之、大木広之「束ね鉄筋の重ね継手長さに関する実験的研究（2本束ね鉄筋の場合）」日本建築学会大会学術講演梗概集（東北）（昭和57年）pp.1347
- 59) 桜田智之、小島冬彦「添え筋を用いた重ね継手のひび割れ性状に関する研究」日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）（昭和58年）pp.1911
- 60) 矢代秀雄、桜田智之「束ね鉄筋の重ね継手長さに関する実験的研究（3本束ね鉄筋の場合）」日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）（昭和59年）pp.1775
- 61) 矢代秀雄、桜田智之「束ね鉄筋重ね継手部における横補強効果に関する

- 研究」日本建築学会大会学術講演梗概集（東海）（昭和60年）pp.599
- 62) 矢代秀雄、桜田智之「束ね鉄筋重ね継手の靱性の向上に関する実験的研究」日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道）（昭和61年）pp.705
- 63) 矢代秀雄、桜田智之、藤本利昭「2本束ね鉄筋重ね継手部の曲げ靱性」日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿）（昭和62年）pp.145
- 64) 桜田智之、矢代秀雄、藤本利昭「3本束ね鉄筋重ね継手部の曲げ靱性」日本建築学会大会学術講演梗概集（九州）（1989年）pp.365
- 65) 矢代秀雄、杉田和直「重ね継手部分のあばら筋の効果に関する実験的研究」日本建築学会大会学術講演梗概集（九州）（昭和47年）pp.1037
- 66) 桜田智之、町田修一「重ね継手部分のあばら筋の効果に関する実験的研究（第2報 異形鉄筋D32の場合）」日本建築学会大会学術講演梗概集（東北）（昭和48年）pp.1353
- 67) 矢代秀雄、桜田智之、町田修一「重ね継手部分のあばら筋の効果に関する実験的研究（第3報 異形鉄筋D41の場合）」日本建築学会大会学術講演梗概集（東北）（昭和48年10月）pp.1355
- 68) 清野茂次、和田級二「はりの引張縁における主筋(D51)の定着について（主として理論的検討）」鉄筋の継手及び定着の設計施工に関するシンポジウム発表論文集（昭和51年3月）pp.97
- 69) 土樫 秀、白川 潔「太径異形鉄筋(D51)の重ね継手に関する実験的研究」土木学会第27回年次学術講演梗概集(5)（昭和47年）pp.109
- 70) 岡村 甫、松本 進「太径鉄筋継手について」土木学会第27回年次学術講演梗概集(5)（昭和47年）pp.115
- 71) 後藤幸正、大塚浩司、竹沢 勉「太径異形鉄筋の重ね継手に関する研究」土木学会第29回年次学術講演梗概集(5)（昭和49年）pp.232
- 72) 門司剛至、船越晴世、和田紘二「太径異形鉄筋D51の重ね継手の補強法に関する試験」土木学会第30回年次学術講演梗概集(5)（昭和50年）pp.319
- 73) 神山立男、岡部富徳、出頭圭三「D32 鉄筋の重ね継手に関する研究」土木学会第34回年次学術講演梗概集(5)（昭和54年）pp.372
- 74) 辻 幸和、辻 正哲他「重ね継手の補強方法に関する実験的研究」第3回コンクリート工学年次講演会論文集（昭和56年）pp.265
- 75) 増田安彦、脇坂達也他「太径異形鉄筋の重ね継手に関する研究（その2 添え筋補強継手工法の開発）」日本建築学会大会学術講演梗概集（九州）（1989年）pp.373
- 76) 中山達雄、脇坂達也他「太径異形鉄筋の重ね継手に関する研究（その1 拘束鉄板補強継手工法の開発）」日本建築学会大会学術講演梗概集（九州）（1989年）pp.371
- 77) 後藤幸正、大塚浩司「太径異形鉄筋の重ね継手に関する研究」鉄筋の継手及び定着の設計施工に関するシンポジウム発表報告集（昭和51年3月

) pp.69

- 78) 中山達雄、脇坂達也、吉岡研三「太径異形鉄筋の拘束重ね継手工法の開発」コンクリート工学年次論文報告集(1990年) pp.509
- 79) A.J.Zekany,S.Neumann,J.O.Jirsa and J.E.Breen : The Influence of Shear on Lapped Splices in Reinforced Concrete, Federal Highway Administration,Jul 81
- 80) 日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」(1982年)
- 81) 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」(1990年)
- 82) 建設省住宅局建築指導課「基本建築関係法令集」(平成5年度版)
- 83) 後藤幸正、大塚浩司「異形鉄筋の重ね継手部におけるひび割れについて」土木学会第26回年次学術講演梗概集(5)(昭和46年) pp.225
- 84) 角陸純一、猿田正明「高強度材を使用した異形鉄筋重ね継手に関する実験的研究(その1 鉄筋両引実験結果)」日本建築学会関東支部研究報告集(昭和62年) pp.69
- 85) 太田一己、森田 晋、和田紘二「重ね継手(D51)における離れの影響について」土木学会第33回年次学術講演梗概集(5)(昭和53年) pp.377
- 86) 武田寿一「繰り返し塑性変形を受ける鉄筋コンクリート材に関する研究(鉄筋に継手のある場合)」(昭和37年12月)東大博士論文
- 87) 鋼材倶楽部「高強度異形鉄筋コンクリート設計法I」pp.91
- 88) 建築技術「建築技術1992.2:特集-今だから知りたい鉄筋継手のすべて」pp.71
- 89) P.M.Ferguson : Reinforced Concrete Fundamentals (3rd Edition), Chapter 5, John Wiley & Sons, 1972

発表論文

日本建築学会論文報告集

- 1) 越前谷智「重ね継手を最大曲げモーメント点に設けた床スラブの曲げ強度及び剛性に関する実験的研究」日本建築学会構造系論文報告集第433号（1992年）pp.29
- 2) 越前谷智「連続スラブ中間支持点に設けた鉄筋重ね継手に関する実験的研究（連続スラブの配筋法に関する一考察）」日本建築学会構造系論文報告集第455号（1994年）pp.147

日本建築学会大会学術講演梗概集

- 1) 越前谷智、小倉弘一郎「非対称配筋された鉄筋コンクリート梁の耐力性状に関する実験的研究」日本建築学会大会学術講演梗概集（東北）（昭和57年）pp.1321
- 2) 越前谷智、小倉弘一郎「同上（その2）」日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）（昭和58年）pp.1793
- 3) 越前谷智、小倉弘一郎「同上（その4）」日本建築学会大会学術講演梗概集（東海）（昭和60年）pp.521
- 4) 越前谷智、小倉弘一郎「同上（その5）」日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道）（昭和61年）pp.433
- 5) 越前谷智、小倉弘一郎「偏心圧縮荷重を受ける非対称配筋された鉄筋コンクリート部材に関する実験的研究」日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿）（昭和62年）pp.537
- 6) 越前谷智、小倉弘一郎「重ね継手を最大曲げモーメント点に設けた床スラブの曲げ強度及び剛性に関する実験的研究」日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）（昭和63年）pp.343
- 7) 越前谷智、小倉弘一郎「重ね継手を最大曲げモーメント点に設けた部材の曲げ強度及び剛性に関する実験的研究（その2）」日本建築学会大会学術講演梗概集（九州）（1989年）pp.363
- 8) 越前谷智「重ね継手を最大曲げモーメント点に設けた部材の曲げ強度及び剛性に関する実験的研究（その3）」日本建築学会大会学術講演梗概集（中国）（1990年）pp.687
- 9) 越前谷智「連続スラブの中間支持点に設けた重ね継手に関する実験的研究」日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）（1992年）pp.309
- 10) 越前谷智「連続スラブの中間支持点に設けた重ね継手に関する実験的研究」日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）（1993年10月）pp.151

北海道科学研究費による研究報告

- 1) 越前谷智「非対称配筋された鉄筋コンクリート梁の耐力性状に関する実験的研究」北海道科学研究費による研究報告（北海道開発調整部）（昭和60年）pp.53
- 2) 越前谷智「鉄筋コンクリート部材の曲げ強度・靱性に及ぼす重ね継手の影響に関する実験的研究」北海道科学研究費による研究報告（北海道企画振興部）（昭和62年）pp.60
- 3) 越前谷智「重ね継手を最大曲げモーメント点に設けた部材の曲げ強度及び剛性に関する実験的研究」北海道科学研究費による研究報告（北海道企画振興部）（平成元年）pp.42
- 4) 越前谷智「連続スラブ固定端に設けた重ね継手に関する研究」北海道科学研究費による研究報告（北海道企画振興部）（平成3年）pp.47