

論文 主筋後挿入方式の PCa 梁用の主筋の重ね継手の性能に関する研究

山梨 敏数^{*1}・今井 弘^{*2}

要旨：プレキャストコンクリート梁にシース管を利用した重ね継手と、従来の一体打ち工法の重ね継手の強度を、両引き試験によって調べた。いくつかの変動因子による影響に関して、特に、シース管の有無による違いは確認されなかった。また、従来の付着割裂強度式による計算値と実験値はよく適合した。増分解析法による計算結果は、実験結果をほぼよく再現しており、本報で提案する簡易モデルの妥当性と解析結果の信頼性が確認された。

キーワード：重ね継手, 重ね長さ, シース, 継手強度, 付着強度

1. はじめに

プレキャストコンクリート（以下 PCa）工法において部材の接合部は重要であり、高い構造性能と生産性を兼ね備えた工法として、主筋後挿入方式が提案されている。この方式には、主筋の重ね継手の位置は、コンクリートの接合部の位置は部材端であるが、地震時の応力の小さい各部材の中央部とすることができる。

本研究では、梁の PCa 部材にシース管を利用した主筋後挿入方式の重ね継手と、従来の一体打ち工法の重ね継手の強度を、両引き試験により調べ、その結果を増分解析法による計算結果と比較、検討する。

て、各 2 体ずつ計 24 体製作した。その断面は 510mm×600mm で、かぶり厚さは 40mm、主筋間隔は 120mm である。また、主筋と添筋には D29（SD490）のネジ節鉄筋、横補強筋には D10（SD295A）の溶接閉鎖型鉄筋、シース管には内径 47mm、山高さ 2mm、厚さ 0.2mm の薄いスパ

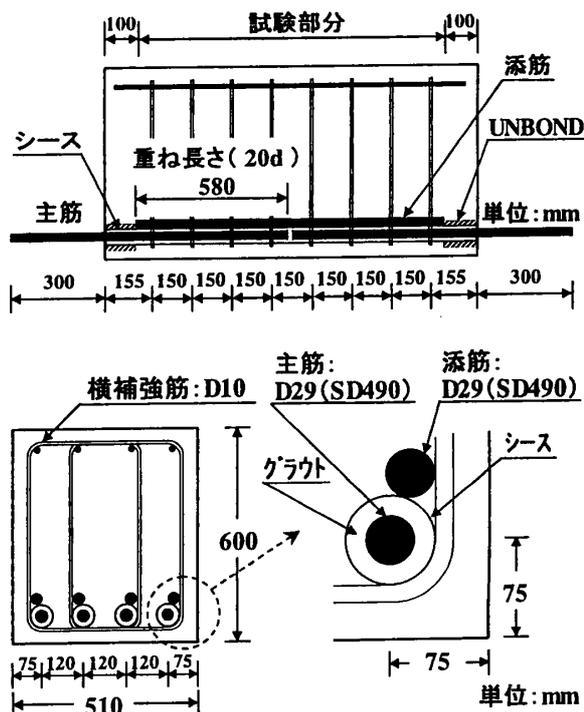


図-1 試験体図（シース有り）

表-1 試験体概要

2. 試験体概要
試験体の概要と特徴を、図-1 と表-1 に示す。試験体は、重ね継手のある梁の一部を取り出したもので、シース管を配した試験体（PCa 梁）と、配していない試験体（一体打ち梁）を、重ね長さを変え

試験体名	重ね長さ (mm)	シース
10d-SA	290	有
15d-SA	435	
20d-SA	580	
25d-SA	725	
30d-SA	870	
35d-SA	1015	
10d-SN	290	無
15d-SN	435	
20d-SN	580	
25d-SN	725	
30d-SN	870	
35d-SN	1015	

*1 筑波大学大学院 理工学研究科 構造工学専攻（正会員）

*2 筑波大学助教授 構造工学系 工博（正会員）

イラル管を使用した。

試験体の製作では、まず、シースの両側より 2 本の主筋をシース中央で向かい合うように挿入し、シースの片側をゴムキャップでふさいだ後、シースを鉛直にして上から高強度モルタルを静かに注入した。この際シース内の空隙は、あらかじめポリウレタンフォームを接着することにより設けた。これらを横補

強筋と共に配筋し打設した。

表-2 にコンクリート、グラウト、及び鉄筋の材料試験結果を示す。なお、コンクリートとグラウトの設計圧縮強度はそれぞれ 300kgf/cm^2 と 600kgf/cm^2 である。

表-2 材料試験結果

コンクリート (kgf/cm ²)		
試験体	圧縮強度	割裂強度
10d~25d	354	27.5
30d~35d	340	25.6

グラウト (kgf/cm ²)	
材令	圧縮強度
7日	627
28日	780
36日	814

鉄筋 (tonf/cm ²)			
径 (規格)	ヤング率	降伏強度	最大強度
D10 (SD295A)	1910	3.72	5.24
D29 (SD490)	2050	5.11	6.76

3. 実験方法

加力方法を図-2 に示す。試験体は下端筋を上にした状態で、試験体の両側に油圧ジャッキを各 4 基ずつ計 8 基を固定した。それぞれの油圧ジャッキに D32 (SD390) のネジ筋鉄筋を接続し、試

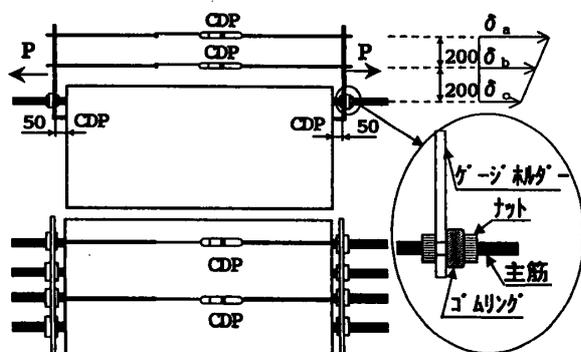


図-2 加力方法

験体の主筋とカップラーで連結して、各主筋に等しい引張力を与えることにより、各試験体を両引き加力した。

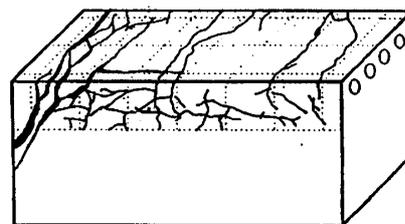
荷重は、試験体を加力している油圧ジャッキと同圧力のジャッキにロードセルを取り付けて測定した。

変位の測定は、4本の主筋のうち、内外各1本について行った。図-2に示すように、両側の主筋にゴムリングを介してナットで固定し、変位計 (CDP: 精度 1/500mm) を用いてそれぞれ上下2カ所計測した。鉄筋芯位置での変形量は、外挿補間により算出した。

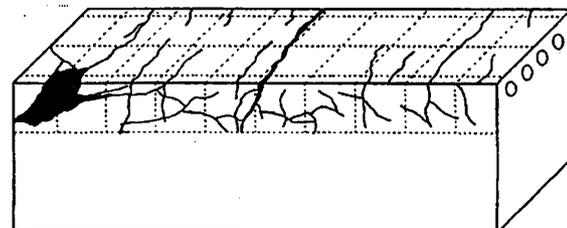
4. 破壊性状

シースを用いた試験体では、主筋、シース、グラウトは一体として挙動した。実験終了時の試験体は、図-3 (a) 及び図-3 (b) に示すような主に2種類の終局状況であった。それらは、重ね長さによって分けられ、シースの有無による影響はほとんど確認されなかった。

図-3 (a) は、重ね長さ 25d 以下の試験体にみられた終局状況で、端部で付着割裂破壊が起きていた。サイドスプリット型の付着破壊が先行して



(a) 重ね長さ : 25d 以下



(b) 重ね長さ : 30d 以上

図-3 破壊状況

おり、鉄筋が降伏する前に最終的にコーナー型の付着破壊に至った。

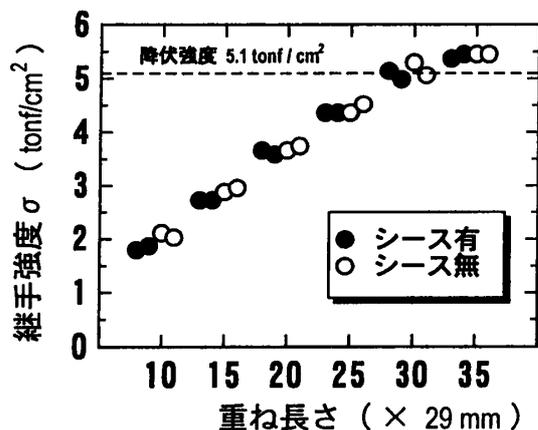
一方、図-3 (b) は、重ね長さ 30d 以上の試験体においてみられた終局状況であり、端部が割裂破壊するばかりでなく、試験体中央部付近のひび割れ幅が大きく広がっていた。これは、主筋の応力を伝達する添筋が降伏したためである。

また、初期ひび割れは、全試験体において約 $P=6\text{tonf}$ (最外縁応力が約 25kgf/cm^2 に達する時の値) で発生した。

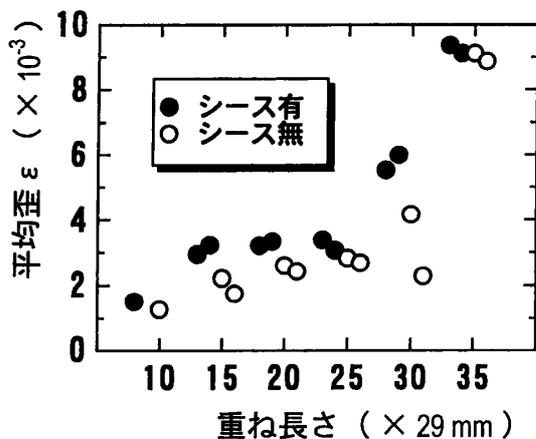
5. 実験結果の考察

5.1 重ね長さ・シースの有無による影響

重ね長さに対応する最大耐力時 (主筋の応力 σ で表示した継手強度) と、両端の鉄筋間の平均歪



(a) 継手強度



(b) 平均歪

図-4 最大強度と変形

ϵ (平均歪は変位を試験部分で除した値) を、それぞれ図-4 (a) と、図-4 (b) に示す。

図-4 (a) では、重ね長さ 30d 以上で D29 (SD490) の規格降伏強度である 5.1tonf/cm^2 に達するまでは、重ね長さで継手強度は比例関係にある。

重ね長さが 30d 以上で鉄筋が降伏歪以上に達していることは、図-4 (b) にも表れており、30d 以上で平均歪が増加している。また、シースの有無による影響は確認されなかった。

5.2 付着強度式との対応

実験値と付着強度式から得られた値とを比較した。付着強度式には、既往の付着割裂強度算定式である藤井・森田式¹⁾、角式²⁾、及び重ね継手の強度算定式である Orangun-Jirsa-Breen 式³⁾を用いた。

シリーズ 1 の実験値を付着応力度に換算して図-5 に示す。便宜のため、図の縦軸は、コンクリートの圧縮強度の平方根で除した値で示されている。この図からもシースの有無による違いはみられない。全体的には藤井・森田式がよい対応を示している。Orangun 式は、15d 以下の重ね長さを適用範囲に含んでいないためか、15d 以下では過大評価となる。また、角式は全体的に過大評価を示している。

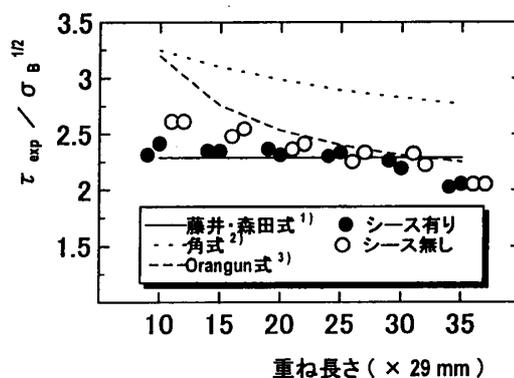


図-5 付着強度式との対応

6. 簡易モデルの提案

重ね継手の機構を簡単に表した解析モデルを図-6に示す。この簡易モデルは図-1に示す重ね継手の1組であり、上下を逆に表示してある。試験体は左右対称なので、半分をモデル化する。

簡易モデルの上部水平方向要素は主筋、下部水平方向要素は添筋である。主筋と添筋は同位置で結ばれるものとし、その鉛直方向要素は主筋と添筋の間にあるコンクリートの付着を表している。節点は鉛直方向には変位せず、水平方向にのみ変位する。モデルのコンクリート断面は主筋と添筋の接する点から上下と左右に60mmの領域とする。

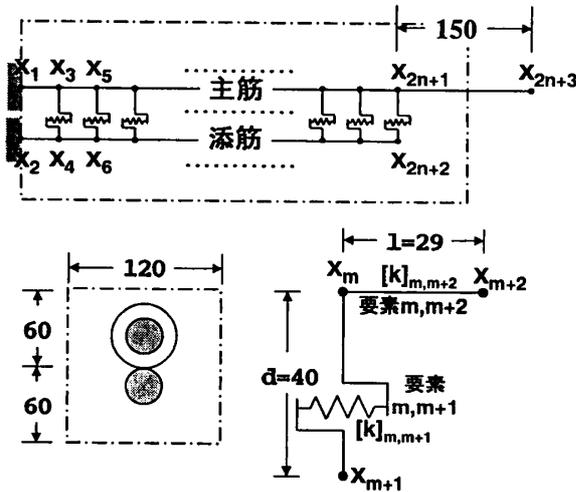


図-6 簡易モデル

7. 復元力曲線の仮定

各要素に仮定した復元力曲線を図-7の(a)から(d)に示す。

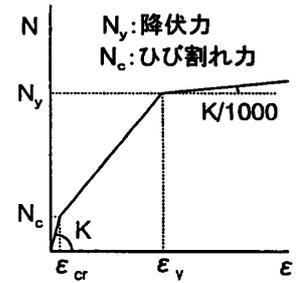
(a)は主筋または添筋と、そのまわりのコンクリートの影響を受ける要素に対するものであり、節点番号 x_3 から x_{2n+1} までと x_2 から x_{2n+2} までの水平要素にあたる。第1折れ点はひび割れに相当し、第2折れ点は主筋の降伏に相当する。降伏後の剛性は初期剛性 K の $1/1000$ 倍とする。

(b)は主筋要素に対するものであり、節点番号 x_{2n+1} と x_{2n+3} 間の要素にあたる。折れ点は主筋の降伏に相当し、降伏後の剛性は初期剛性 K_s の $1/1000$ 倍とする。

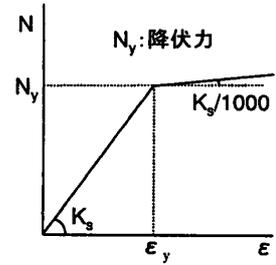
(c)はコンクリートのみの要素に対する曲線で節点番号 x_1 と x_3 間のものにあたる。第1折れ点は引張ひび割れに相当する。引張応力下ではあるが、最大強度後も耐力を保持しながら下降するものとし、その傾きは Park 等の提案⁹⁾によるコンクリートの応力-ひずみ曲線を参考に仮定した。最大荷重後は、 N_t の 20%まで下降、その後は、初期剛性 K_c の $1/1000$ 倍の傾きとする。

最後に (d)は付着の要素に対するものであり、節点番号 x_3 から x_{2n+2} の鉛直要素にあたる。まず、第2折れ点にあたる最大荷重は $\tau_{bu} \phi l$ と仮定する。ここで、 ϕ はシースの周長

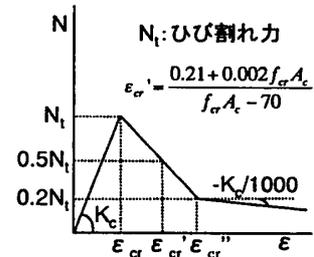
を、 l は要素の長さを示し、 τ_{bu} は藤井・森田式による計算値を用いた。これは、実験値との比較で最もよい対応を示していたためである。次に、第1折れ点にあたるひび割れ荷重を $\tau_{cr} \phi l$ と仮定する。ここで、 $\tau_{cr} = \tau_{cr}$ とする。これは、藤井・森田式内のコンクリートの項のみを用いた値である。また、最大荷重後は、 $\tau_{bu} \phi l$ の 0.2 倍の荷重になるまで下降するものとし、その後の剛性 K_{bu} は $K_{bu} = \tau_{bu} / \gamma_y$ の $1/1000$ 倍とする。一方、ひず



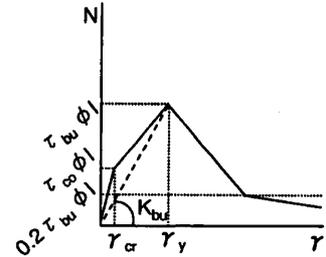
(a) 主筋(添筋)要素



(b) 主筋要素



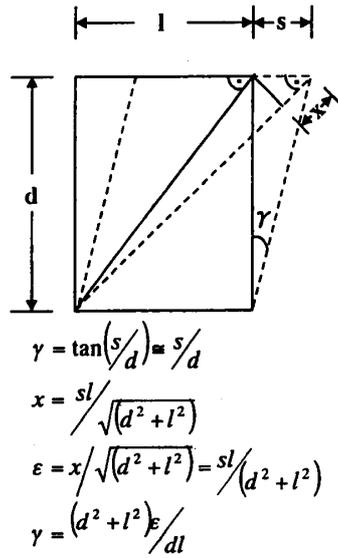
(c) コンクリート要素



(d) 付着要素

図-7 復元力特性

み γ は、図-8
に示すように考
え、 $\gamma = (d^2 + l^2) \cdot$
 ϵ / dl と仮定する。
その第1折れ点
はコンクリート
のひび割れに関
係しているとし、
ひずみ ϵ_c を、
第2折れ点は鉄
筋の降伏に関係
しているとし、
ひずみ ϵ_y を用
いる。



$$\gamma = \tan\left(\frac{s}{d}\right) \approx \frac{s}{d}$$

$$x = \frac{sl}{\sqrt{d^2 + l^2}}$$

$$\epsilon = x / \sqrt{d^2 + l^2} = \frac{sl}{(d^2 + l^2)}$$

$$\gamma = \frac{(d^2 + l^2) \epsilon}{dl}$$

図-8 付着要素のひずみ

8. 実験結果との比較

図-9 に各重ね長さの解析値と実験値を示す。
解析は実験値をよく再現しているが、全体を通し
て、重ね長さの大きい方が実験値に近い値が得ら
れた。重ね長さ 20d 以下では、解析値の最大荷重
の方が高め、25d 以上では、実験値の方が高めに

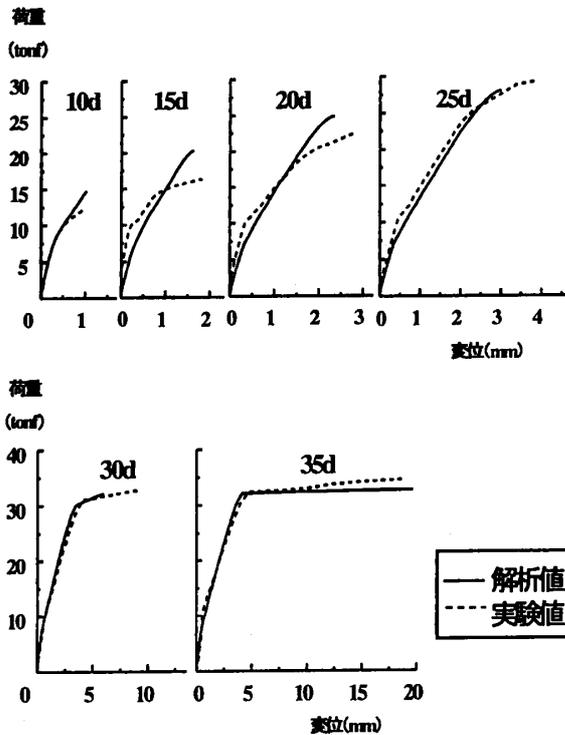


図-9 荷重-変位曲線

でる傾向にあった。

9. 解析結果の考察

図-10 (a) 及び (b) には、それぞれ、20d 及
び 35d の試験体中央部から端部 (加力部分) にか
けての応力分布の推移を表している。それぞれ、
(I) は主筋部材、(II) は添筋部材、(III) は付
着部材を示す。主筋部材では中央部から端部に進
むにつれ、応力が大きくなっているのに対し、添
筋部材では中央部から端部に進むにつれ、応力が
小さくなっている。この勾配が付着応力に相当し、
最初に端部と中央部に応力が集中し、それぞれで
最大応力に達すると、負の剛性になるために、応
力が内部 (端部と中央部の間) に向かって集中し
てくることが認められる。

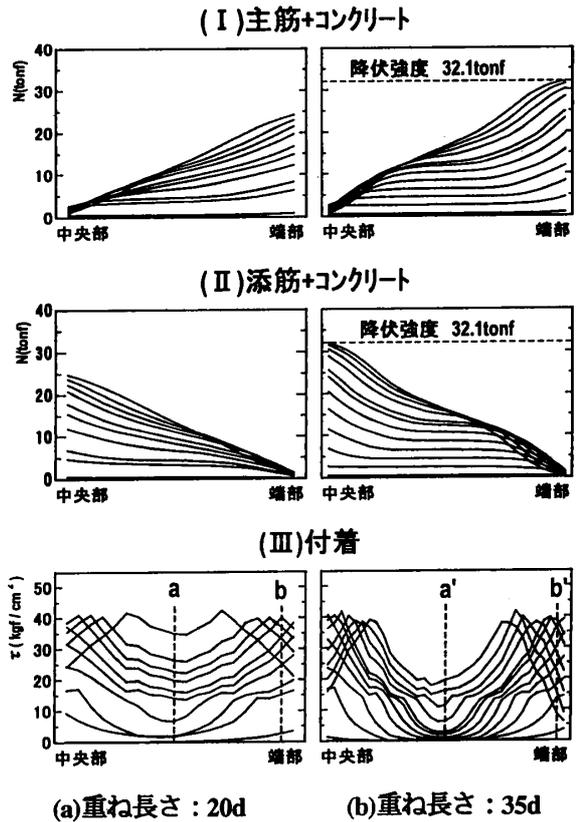


図-10 応力分布の推移

付着部材にのみ着目する。図-11 は、図-10
に示す重ね長さ 20d の付着部材応力のうち a 要素、
b 要素、及び重ね長さ 35d の a'要素、b'要素の履

歴曲線である。

荷重が加わった時、重ね長さ 20d では、a、b 要素の応力にあまり差はみられない。また、図-10 に示されるように、終局時にはほとんどの付着要素が最大応力に達している。これは、その破壊形式が付着破壊であることを示しており、実験終了時の試験体の状況と一致する。

これに対して重ね長さ 35d では、a'要素と b'要素の応力には大きな差が見られ、終局時に最大応力に達している付着要素もほぼ半数ではある。したがって、その破壊形式を付着破壊のみとは認められない。しかし、終了時の主筋部材、添筋部材では降伏強度に達している要素がみられる。これらのことから、終局状況は付着破壊、及び主筋、添筋の降伏による破壊であることが認められる。これも、実験終了時の試験体と一致する。

本解析を行うことにより、実験終了時の破壊形式を明らかにすることができた。また、付着部材の剛性が、全体の剛性に及ぼしている影響が非常に大きいことが確認された。

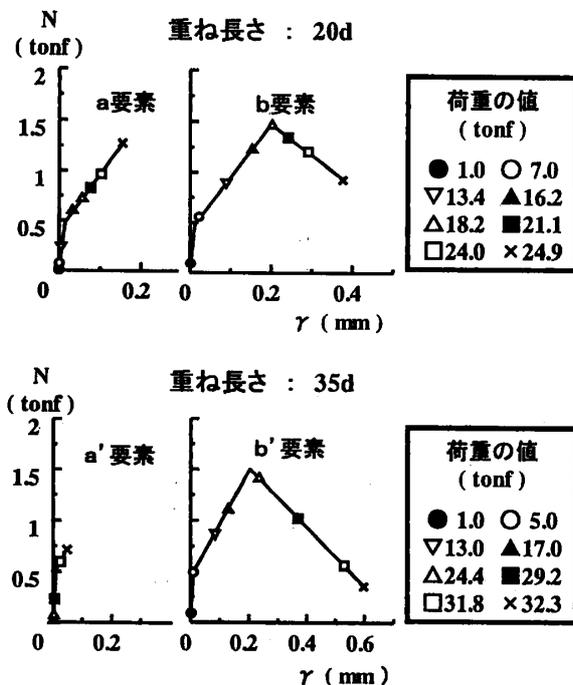


図-11 付着要素の履歴曲線

10. まとめ

D29 を用いた主筋後挿入方式の重ね継手の引張試験を行い、次のような結果を得た。

- (1) シースの有無による影響はなく、一体打ち梁とプレキャスト梁の重ね継手の性能は、ほぼ同等であることが確認された。
- (2) 主筋、シース、グラウトは一体となって挙動した。
- (3) 規格降伏強度 5000kgf/cm^2 の鉄筋、設計圧縮強度 300kgf/cm^2 のコンクリートを用いた重ね継手では、重ね長さ30d以上で降伏強度の応力伝達が認められた。
- (4) 付着強度式は、藤井・森田式が最もよい適合性を示したが、重ね長さ20d以上ではOrangun式でもよく評価できた。

本研究で提案した簡易モデルにより、次の結果を得た。

- (5) 計算による破壊形式は、実験の破壊形式と一致した。
- (6) 簡易モデルで、重ね継手の破壊の推移を理解することができる。
- (7) 付着部材の剛性が、全体の剛性に及ぼしている影響が非常に大きい。

参考文献

- 1) 藤井 栄, 森田 司郎: 異形鉄筋の付着割裂強度に関する研究 (第2報 付着割裂強度算定式の提案), 日本建築学会論文報告集, 第324号, pp.45-52, 昭和58年2月
- 2) 角 徹三: サイドスプリット型付着割裂破壊するRC部材の付着強度式, 日本建築学会大会学術講演概集 (関東), pp.225-226, 1993年9月
- 3) Orangun, C. O., Jirsa, J. O., Breen, J. E.: A Re-evaluation of Test Data on Development Length and Splices, ACI Journal, Vol. 74, pp.114-122., March 1977
- 4) Kent D. C. and Park R.: Flexural Members with Confined Concrete, Proc. of ASCE, Vol. 97, No.ST7 July 1971