

論文

[2043] プレキャスト型枠コンクリート工法における鉄筋の接合方法に関する実験的研究

鉄筋の接合方法に関する実験的研究

野村和嗣\*1 原夏生\*2 睦好宏史\*3 町田篤彦\*4

1. はじめに

プレキャスト型枠工法における解決すべき課題の一つとして、プレキャスト型枠間の鉄筋の接合の問題が上げられる。プレキャスト型枠工法の継手方式において要求される性能は、継手強度が高くひび割れが誘発しにくく、施工が容易であることであり、さらにコストが低いことも望ましい。このような条件を満足した継手工法としては、重ね継手の応用利用に将来性があるものと思われる。重ね継手による鉄筋の応力伝達機構は、基本的に異形鉄筋の付着割裂強度に依存している。構造上十分な強度を期待するには、十分な定着長、かぶり厚さ、コンクリート強度、あるいはそれらに変わる補強等が必要である。本実験では以上の検討結果をふまえた上で、重ね継手の応力伝達機構を明確にし、重ね継手を応用利用するための基礎データを得る事を目的の一つとする。また、さらに今回の実験においては、従来の継手の他にさらに簡単かつ安価な鉄筋継手工法の開発を主眼として、比較的容易に入手、施工のできる静的破砕材と鋼管を用いた鉄筋スリーブ継手工法についての実験も行い、その力学的特性を検討した[1]。

2. 実験概要

2. 1 軸方向補強筋とらせん筋を有する重ね継手

2. 1. 1 目的

プレキャスト型枠間の接合に重ね継手を用いる場合、プレキャスト型枠相互の鉄筋を重ねることは、施工上の大きな問題点となる。また、継手の長さも可能な限り短いことが好ましい。そこで、重ね継手の応用利用として図-1に示すような、プレキャスト型枠の鉄筋同士を直接重ねず、型枠接合部で突き合わせ、軸方向に添え筋の役目をする補強筋を配し、さらに割裂破壊を防止、鉄筋に拘束力を発揮させるためのらせん筋を有する継手方式を開発する。本研究の目的は、本方式による継手の一軸引張供試体を作成し、種々のパラメータを変化させた静的な引張試験を行い、耐力面での評価を与えることにある。

2. 1. 2 供試体概要

供試体の基本形状を図-2に示す。鉄筋は重ねずに突き合わせた状態で、軸方向に4本の補強筋を配置し、それらをらせん筋で取り巻いた(以後、突き合わせた鉄筋を主筋と呼ぶこととする)

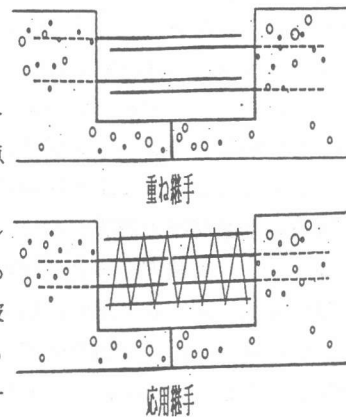


図-1 継手イメージ図

\*1 埼玉大学大学院 理工学研究科建設工学専攻(正会員)

\*2 前田建設工業(株) 技術研究所土木構造研究室研究員、工修(正会員)

\*3 埼玉大学助教授 工学部建設工学科、工博(正会員)

\*4 埼玉大学教授 工学部建設工学科、工博(正会員)

主筋にはD19、SD345のねじふし鉄筋を使用し、軸方向補強筋にはD10およびD13、SD345の異形鉄筋を使用した。らせん筋はD6、SD345の異形鉄筋である。使用鉄筋の機械的性質の一覧を表-1に示す。また、使用したコンクリートは、早強ポルトランドセメントを使用しGmax=12.5mmとし、W/C=0.48、0.60、0.79の3種類とした。

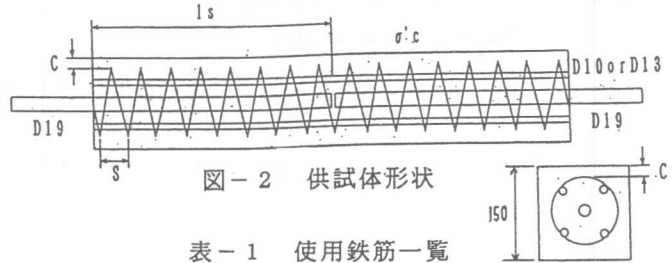


図-2 供試体形状

表-1 使用鉄筋一覧

鉄筋種	平均降伏荷重 (tf)	平均降伏応力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	平均破断荷重 (tf)	ヤング率 (kgf/cm <sup>2</sup> )
D19	12.54	4392	17.00	1.93E+06
D10	3.22	4520	4.26	1.99E+06
D13	5.03	3973	7.17	1.83E+06

表-2 供試体一覧

2. 1. 3 供試体のパラメータ

供試体仕様の一覧を表-2に示す。供試体は全部で12体作製した。これらは、重ね継手強度の影響を及ぼすと思われる、5つの要素を個々に評価するためのものである。すなわち、

供試体No.	コンクリート強度 $\sigma'_{ck}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	重ね長さ		かぶり		らせん筋ピッチ		補強筋径
		1s (cm)	1s/φ	C (cm)	S (cm)	At/Sφ		
1	477	30	15.8	3.5	4.5	0.04	D10	
2	477	30	15.8	3.5	4.5	0.04	D13	
3	477	40	21.1	3.5	3.0	0.06	D10	
4	230	40	21.1	3.5	4.5	0.04	D10	
5	477	40	21.1	2.5	4.5	0.04	D10	
6	477	40	21.1	3.5	4.5	0.04	D10	
7	477	40	21.1	4.5	4.5	0.04	D10	
8	506	40	21.1	3.5	4.5	0.04	D10	
9	477	40	21.1	3.5	6.0	0.03	D10	
10	477	40	21.1	3.5	4.5	0.04	D13	
11	477	50	26.3	3.5	4.5	0.04	D10	
12	477	50	26.3	3.5	4.5	0.04	D13	

- ①コンクリートの圧縮強度の影響(シリーズI):NO.4、NO.6、NO.8
- ②主筋と軸方向補強筋の重ね長さの影響(シリーズII):NO.1、NO.6、NO.11
- ③軸方向補強筋のかぶりの影響(シリーズIII):NO.5、NO.6、NO.7
- ④らせん筋のピッチによる拘束鉄筋量の影響(シリーズIV):NO.3、NO.6、NO.9
- ⑤軸方向補強筋径の影響(シリーズV):NO.1、NO.2、とNO.6、NO.10、およびNO.11、NO.12

2. 1. 4 実験方法および測定項目

載荷装置を図-3に示す。供試体を縦にセットし、上下方向の両引き試験とした。主筋と軸方向補強筋には鉄筋径の5倍(5D)間隔にひずみゲージを貼付してあり、さらに供試体上部には継手からの鉄筋の抜け出し量を測定するための変位計を取り付けた。試験は単調載荷の一軸試験とし、主筋が完全に抜け出す等、継手が完全な破壊状況に至るまで行った。

2. 2 静的破砕剤と鋼管を用いた継手

2. 2. 1 目的

今回検討した軸方向補強筋とらせん筋を有する重ね継手は、基本的には従来の重ね継手の延長上にあるものであり、必要定着長を確保すれば、耐荷能力上の問題点はないと思われる。そこで、さらにこの継手方式を発展させた手法として、静的破砕剤の膨張圧を利用した鋼管スリーブ継手を試作した。これは、軸方向補強

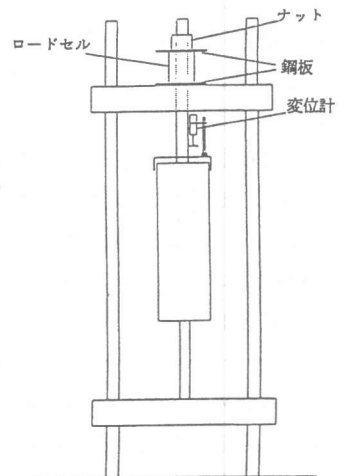


図-3 載荷装置

筋による鉄筋応力の伝達機能とらせん筋の鉄筋拘束機能の二つの機能に兼用させたものであり、拘束力をさらに増大させるために鋼管内に硬化過程で急激な体積膨張を生ずる静的破砕剤を注入したものである。加えて施工性の向上も可能とする継手方式でもある。

### 2. 2. 2 供試体概要

試作を行った供試体は9体で、使用した鉄筋は、前回と同様な、ねじふし鉄筋D19、SD345である。鋼管は3種類のものを用い、いずれもJIS規格の中から断面積がD19を上回るように内径、内厚を選定したものである。継手長さに相当するスリーブ長も10D、15D、20D(D:主筋径)の3種類である。図-4に供試体の作成方法を示す[2]。

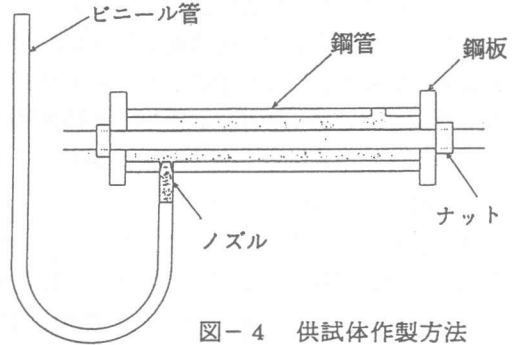


図-4 供試体作製方法

静的破砕剤を充填する際、鉄筋がずれることを防止し、鋼管両端から膨張圧を逃がさないために12mm厚の鉄板をねじふし鉄筋用ナットを用いて押さえつけた。スリーブ鋼管両端の鉄板は、鋼管に貼付したひずみゲージにより所定の膨張圧が発生したことを確認後、除去した。

### 2. 2. 3 実験方法および測定項目

鋼管には破砕剤の膨張圧を測定するため、周方向にひずみゲージを添付した。また、ねじふし鉄筋には破砕剤との付着を損なわない程度に等間隔にひずみゲージを貼付した。実験方法は、一方向引抜き試験で鉄筋が破断またはスリーブから抜け出すまで行った。

## 3. 実験結果および考察

### 3. 1 軸方向補強筋とらせん筋を有する重ね継手

表-3 引張り試験結果一覧

#### 3. 1. 1 両引き試験結果

表-3に全供試体の試験結果を示す。同表には継手破壊時の鉄筋応力および、主筋自身の破断応力との比が示してある。全ての供試体において、主筋は降伏に達している。なお、供試体NO.4とNO.11については、主筋よりも先に軸方向補強筋が供試体中央部、つまり主筋の突き合わせ部分で降伏している。

また、供試体の破壊モードを、以下に示すような3つの破壊パターンに分類することと

供試体 No.	降伏応力 $\sigma_{sy}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	終局応力 $\sigma_{su}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	破断応力比 $\sigma_{su}/5916.2$	破壊モード
1	4258.3	5654.5	0.96	コンクリート破壊
2	4418.8	5689.4	0.96	主鉄筋抜け
3	4321.1	5654.5	0.96	コンクリート破壊
4	4328.1	5347.3	0.90	コンクリート破壊
5	3382.2	5200.7	0.88	補強筋破壊
6	4286.2	5794.1	0.98	コンクリート破壊
7	3989.5	5769.6	0.98	補強筋破壊
8	4380.5	5602.1	0.95	補強筋破壊
9	3916.2	5877.8	0.99	主鉄筋抜け
10	4209.4	5926.7	1.00	主鉄筋抜け
11	4520.1	5759.2	0.97	補強筋破壊
12	4513.1	5940.7	1.00	主鉄筋抜け

した。まず、「コンクリート破壊」としたのは、継手のコンクリートが中央部分、つまり主筋の突き合わせ部分で鉄筋に垂直方向に完全に破壊したのち、主筋抜け出し部分でコンクリートが割裂破壊を起こし、主筋が抜け出る終局現象を示したものである。この破壊パターンは重ね長さの比較的短い供試体に見られる。「主鉄筋抜け」とは、コンクリートが破壊に至る前に割裂破壊を起こして主筋が抜け始める破壊パターンで、軸方向補強筋がD13である供試体や、横方向補強筋量の少ない供試体に見られる破壊パターンである。そして「補強筋破壊」は、コンクリート破壊後、主筋とコンクリートとの付着強度が軸方向補強筋の耐力を上回り、補強筋が破断する破壊パターンで、コンクリート強度や重ね長さが影響を及ぼしているようである。

### 3. 1. 2 考察

#### (1) 継手の力学的性状の種類について

図-5. 1 は破壊モードが「コンクリート破壊」である供試体NO.1の主筋降伏時と終局時における、主筋と2本の軸方向補強筋のひずみ分布を示したものである。同様に図-5. 2は「補強筋破壊」の供試体NO.7の分布図、図-5. 3は「主鉄筋抜け」である供試体NO.12のものである。図を検討すると、「主鉄筋抜け」タイプのものは最後まで補強筋の方に応力が伝達せずに主筋のみで継手強度を保っており、横方向補強筋量の少ない等の理由で主筋の周りで割裂破壊を起こしている。また破壊モードが「補強筋破壊」タイプのものは、主筋に応力が伝わらない継手中央部分で軸補強筋が継手の応力を受け持っていることが明らかで、このため局部的な応力集中により破壊に至ったと考えられる。そして「コンクリート破壊」タイプにおいては、降伏から終局に至る過程において継手としての応力を主鉄筋から補強筋にうまく伝達しているようである。

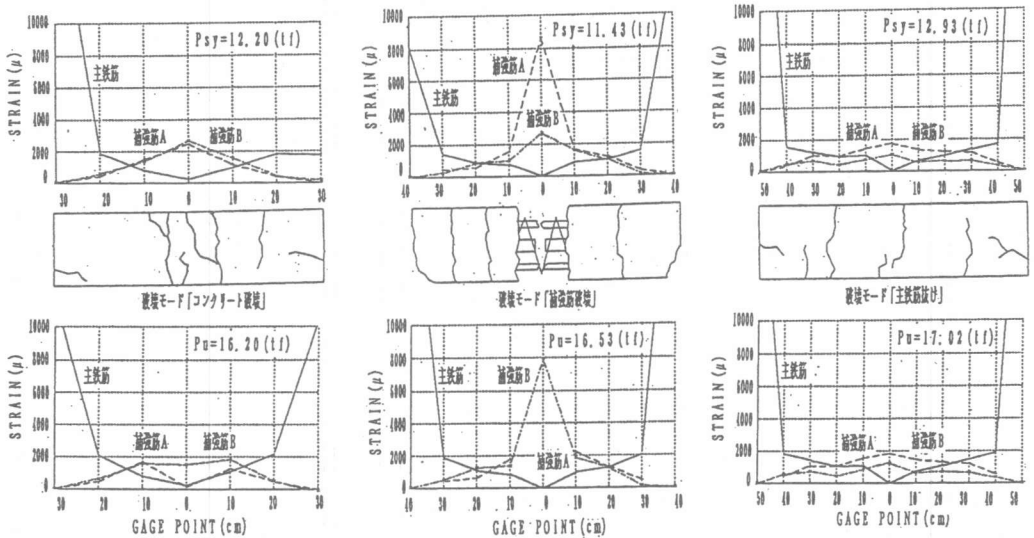


図-5. 1、5. 2、5. 3 降伏時(上)終局時(下)のひずみ分布図 NO.1、7、12

また図-6は、上記3タイプの供試体の主筋のひずみ測定値を逐次積分して鉄筋の伸びを求め、それを変位計で測定した主筋の抜け出量から減じて求めた、主筋の先端(突き合わせ部)における抜け出量のグラフである。抜け出量の比較は「コンクリート破壊」>「補強筋破壊」>「主鉄筋抜け」の順であり、これは主筋の拘束力の度合いを示すものである。

#### (2) 鉄筋応力度に対する各パラメータ別の影響

① シリーズ I : コンクリートの圧縮強度の影響(NO.4、6、8)については、データにかなりのばらつきが存在するが、コンクリートの圧縮強度が増加すると、継手耐力は増加する傾向にある。

② シリーズ II : 主筋と軸方向補強筋の重ね長さの影響(NO.1、6、11)については、鉄筋応力に関しては、今回の実験範囲では有為な差異は見られない。しかしながら、ひび割れの状況を観察す

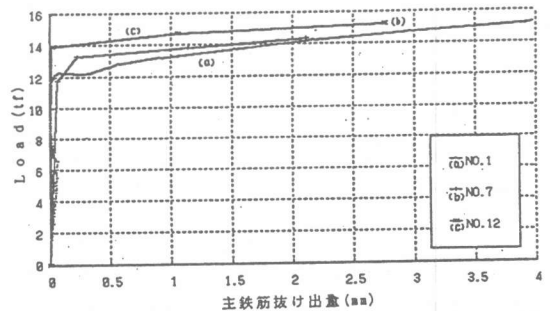


図-6 主筋抜け出量 NO.1、7、12

ると、継手長さの影響は、継手中央部分のひび割れ幅の大きさに表れるようである。

③シリーズⅢ:軸方向補強筋のかぶりの影響(NO.5、6、7)については、かぶりが2.5cmのNO.5の耐力が他の供試体に比べ劣るものの、3.5cmと4.5cmでは終局時の鉄筋応力を見る限り、有為な差は認められない。しかしながら、破壊状況を見比べるとやはりかぶりの小さい供試体の方が軸方向補強筋の周りの割裂ひび割れ幅が大きく、継手端部の破壊が著しいことが観察された。

④シリーズⅣ:らせん筋のピッチによる拘束鉄筋量の影響(NO.3、6、9)について、継手耐力に対するらせん筋のピッチの影響を図-7に示す。同図において示した、らせん筋量とは、土木学会コンクリート標準示方書で、横補強鉄筋量の評価に用いられている次式をらせん筋に適用したものである。

$$\text{らせん筋量} = 15 \cdot A_t / (s \cdot \phi) \quad (1)$$

ここに  $A_t$ :横方向補強筋(らせん筋)の換算断面積( $\text{cm}^2$ )  $s$ :横方向補強筋(らせん筋)ピッチ( $\text{cm}$ )  $\phi$ :主鉄筋径( $\text{cm}$ )。同図より、らせん筋量が大きくなると継手耐力が増加していることが分かる。

⑤シリーズⅤ:軸方向補強筋種の影響(NO.1、2 NO.6、10 NO.11、12)については、破壊モードを考察すれば分かるように、D13の断面積は主筋のそれを大きく上回っているためこれを軸方向補強筋としている供試体は、重ね長さや拘束鉄筋の影響に関わらず継手中央部の耐力が主筋の付着強度を上回り、「主鉄筋抜け」を起こしている。

### 3. 2 静的破碎剤と鋼管を用いた継手

#### 3. 2. 1 一方向引抜き試験結果

表-4 引き抜き試験結果一覧

表-4に全供試体の形状寸法、試験直前の膨張圧の値、最大引抜き荷重もしくは破断荷重、またそれを鉄筋と破碎剤との付着面積で除した付着強度の値も示す。

供試体 No.	スリーブ長	内径 (mm)	膨張圧 (kgf/cm <sup>2</sup> )	引抜き荷重 (tf)	破断荷重 (tf)	付着強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	10D(20cm)	27.2	242	11.35(0.67)		95.1
2		29.9	272	15.20(0.90)		127.3
3		45.1	302	15.80(0.93)		132.3
4	15D(30cm)	27.2	240	16.72(0.99)	16.30(0.96)	93.4
5		29.9	272			91.0
6		45.1	280	16.56(0.98)		92.5
7	20D(40cm)	27.2	240	14.95(0.89)		62.6
8		29.9	272	16.68(0.98)		69.9
9		45.1	300	16.78(0.99)		70.3

※( )内は鉄筋破断荷重との比

#### 3. 2. 2 考察

図-8に膨張圧試験の結果を示す。測定箇所は鋼管端部と1/4長部、そして中央部の3ヶ所である。今回の実験では、施工サイクルタイムの短縮を図ることを念頭において、材令3日を基準に引抜きを行ったが、膨張圧に関してはほぼピークに達していたと思われる。

供試体NO.1を除いては全ての供試体がD

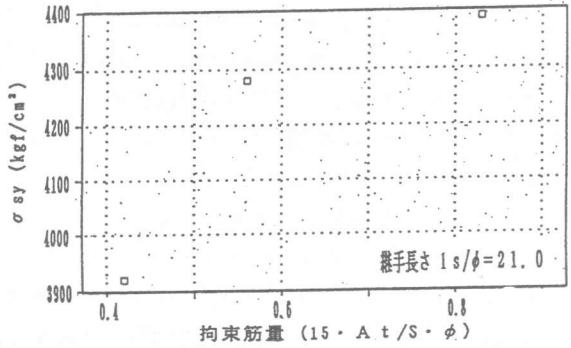


図-7 らせん筋量の影響

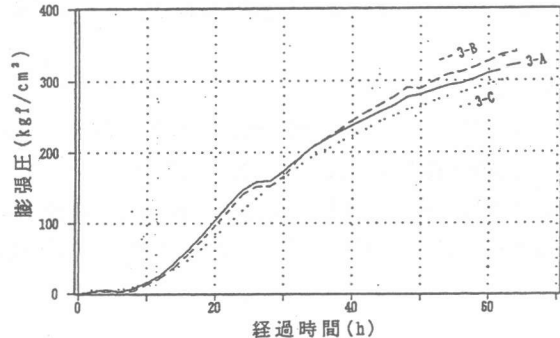


図-8 膨張圧試験結果(NO.3)

19鉄筋の破断強度の90%以上を確保しており、その面では充分実用性を持つと思われる。加えて鉄筋拘束力の面からも、鋼管が添え筋の機能を果たすことは可能であると言える。また図-9に膨張圧と終局荷重の関係を示した。本実験の範囲内では15D以上のスリーブ長を確保すれば多少の低膨張圧に関わらずに充分な強度が期待される。しかし供試体N0.8、9ほどの内径、スリーブ長があれば主鉄筋の破断まで至ることも期待されたが、これも最終的には主鉄筋の引き

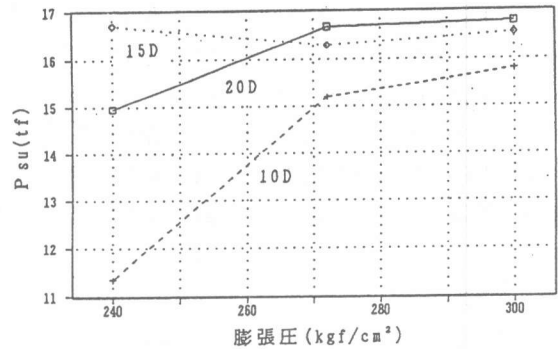


図-9 膨張圧と終局荷重の関係

抜けて終局した。あるいは膨張圧にまだ増加の余地があったという憶測もある。また内径に関しては必要以上に大きいと、使用破砕剤量の関係から合理性に欠けると思われるので、その限界値も調べる必要がある。そして鋼管の肉厚に関しては強度との因果関係は特に見いだせず、鋼管の肉厚と鉄筋径および膨張圧の相互関係を見いだすことが今後の検討課題であると思われる。

#### 4. まとめ

今回2タイプの継手の実験により、プレキャストコンクリート型枠工法に用いる鉄筋の継手としての適用性を検討して次の結論を得た。

1) 軸方向、横方向補強筋を添えた継手においては、特にコンクリート強度や重ね長さが継手強度に大きく影響する。

2) 拘束筋量を増すと継手耐力の向上、つまり主筋の抜け出しを防ぐことに有効である。

3) 理想的な継手の破壊形式は母材の破断であるが、今回全ての形式は部材の破壊であり、継手としての適用性の向上のためにはさらに工夫を必要とする。

4) 鋼管タイプのもは、一部の供試体で主鉄筋の破断に至り耐力的にも添え筋タイプのもと同等以上であり、添え筋の機能も果たしていると言える。さらに施工性においても添え筋タイプのもより優れている。

#### 謝辞

本実験を遂行するにあたって、埼玉大学建設材料研究室土澤英幸技官、(株)フジタ黒済直樹君(元卒論生)には供試体作製等において多大な御助力をいただいた。ここに感謝する次第である。

#### 参考文献

[1]高山俊一・出光隆・阪井泰造：静的破砕剤を用いた鉄筋継手工法、第46回土木学会年次学術講演会講演概要集、pp.734-735、1991.9

[2]藤田浩二・山崎竹博・出光隆・渡辺明：定着用膨張剤を用いた平行線アラミドロープの定着方法と強度に関する研究、第47回土木学会年次学術講演会講演概要集、pp.244-245、1992.9