

[2050] スパイラル筋で補強した重ね継手の耐力評価に関する実験的研究

原 夏生^{*1}・篠田 佳男^{*2}・河野一徳^{*3}・今西秀公^{*4}

1. はじめに

プレキャストコンクリート（P C a）型枠工法は、構造鉄筋を含むP C a部材で型枠を組立後、内部に2次コンクリートを打設することによって、構造物を構築する工法である。P C a型枠工法における重要な課題の1つに、P C a型枠間の鉄筋の接合の問題が挙げられる。一方、重ね継手は、必要な重ね合わせ長さ、かぶり等が確保できれば、十分な強度、靱性を有するものであり、ある程度の施工誤差を許容し、低コストであることから、P C a型枠工法への有効利用が期待される。P C a型枠工法に重ね継手を適用させる場合、施工性を考えると、重ね合わせ長さをできるだけ短くすることが望ましい。重ね合わせ長さを減少させる方法として、横補強筋やスパイラル筋で補強する方法が挙げられる。横補強筋による補強効果については、既に報告されている例（たとえば、高橋ら¹⁾）もあるが、スパイラル筋による補強効果については、著者らの知る範囲では、設計に用いられるような形式で評価された例はない。そこで、本実験は、P C a型枠工法で用いることを前提として、太径鉄筋の重ね継手に関してスパイラル筋による補強効果を定量的に検討することを目的として実施するものである。

2. 実験概要

2. 1 試験体

試験体は表-1に示す8体で、いずれも等曲げ区間を有する2点荷重の単純梁である。代表してN o. 2の試験体図を図-1に示す。N o. 1～N o. 4は主筋にD 32を用いており、N o. 5～N o. 8はD 25を用いている。N o. 1およびN o. 5は継手を持たない一体打ちの基準試験体である。他の6体は、主鉄筋を埋設したP C a部材を梁試験体の引張縁および圧

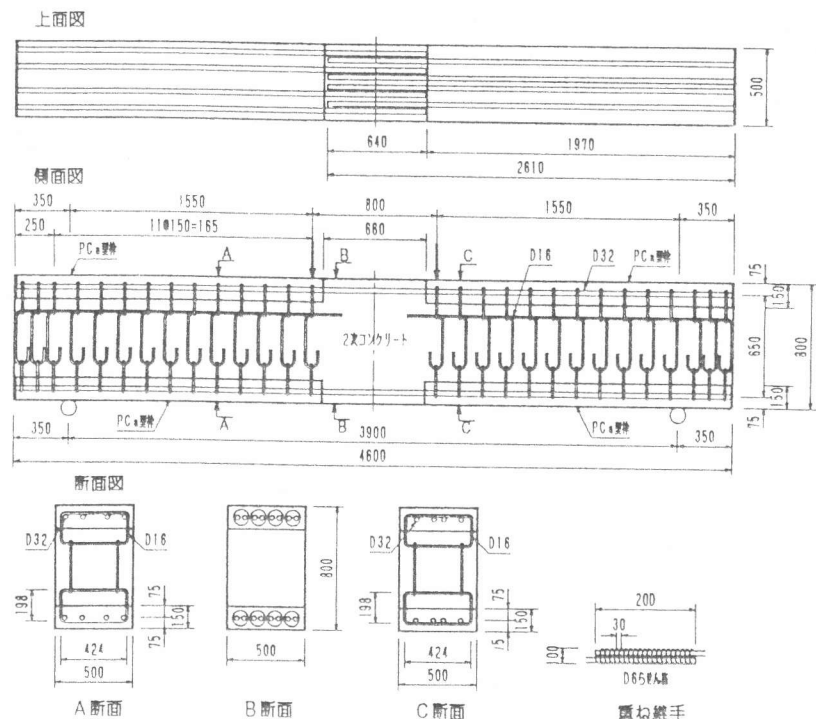


図-1 試験体図 (N o. 2)

- *1 前田建設工業（株）技術本部技術研究所土木構造研究室研究員、工修（正会員）
- *2 前田建設工業（株）技術本部技術研究所土木構造研究室副室長、（正会員）
- *3 前田建設工業（株）技術本部技術研究所土木構造研究主任研究員、工修（正会員）
- *4 前田建設工業（株）技術本部技術研究所土木構造研究室研究員、工修（正会員）

縮縁に配置し型枠として用いており、等曲げ区間には重ね合わせ長さ20D（D：鉄筋径）の重ね継手を有している。主な実験パラメータは、主鉄筋径および重ね継手を補強しているスパイラル筋の直径およびピッチである。各試験体は、曲げ破壊あるいは継手部の破壊を想定しており、せん断破壊を生じないようにせん断スパンには、せん断補強筋が配置されている。基準試験体（No. 1およびNo. 5）については、通常のせん断補強筋を配置したが、PCa型枠を有する試験体においては、図-1に示すように、PCa型枠内に主筋を取り巻くように口型鉄筋を配置し、引張側および圧縮側のPCa型枠をフック筋で接合することでせん断補強筋とした²⁾。本手法によるせん断補強効果の定量的評価については現在検討中である。また、PCa型枠の表面は、打設時に

打継ぎ処理剤を散布することで骨材を露出させ、二次コンクリートとの一体化を図っている。

表-1 試験体一覧

試験体	主筋	せん断補強筋	スパイラル筋（継手部）		コンクリート強度(kgf/cm ²)		備考
			寸法(mm)	ピッチ(mm)	PCa型枠部	2次コンクリート	
No. 1	D32×4 (0.79%)	D16@150	重ね継手なし		339		基準試験体
No. 2			D6-φ100	30	369	341	試験体中央位置に20Dの重ね継手
No. 3				50	362	357	
No. 4				70	394	379	
No. 5	D25×5 (0.63%)	(0.53%)	重ね継手なし		374		基準試験体
No. 6			D6-φ75	30	411	386	試験体中央位置に20Dの重ね継手
No. 7				50	339	297	
No. 8				70	350	309	

2.2 計測項目および荷重方法

主な測定項目は、荷重ならびに試験体各部のたわみ変位および等曲げ区間のひびわれ幅である。また、各試験体の重ね継手部分の主筋およびスパイラル筋については、図-2に示すように4D間隔でひずみを測定している。

荷重方法は、単調荷重とし、計測は荷重荷重2tf毎、および主筋の降伏後は、降伏時の中央部たわみ変位の約1/30毎に実施している。また、荷重4tf毎にひびわれ状況の観察ならびに等曲げ区間において、鉄筋軸線上のひびわれ幅をコンタクトメーターを用いて0.8mmまで測定した。

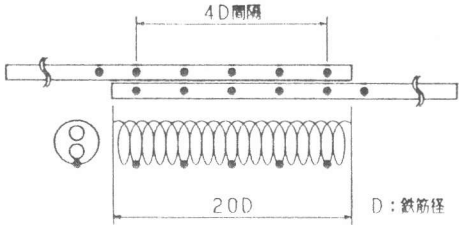


図-2 継手部ゲージ測定位置図

表-2 使用鉄筋の機械的性質

鉄筋径	降伏強度 f_y (kgf/cm ²)	降伏ひずみ ϵ_y (μ)	ヤング率 $E_s \times 10^6$ (kgf/cm ²)
D 6	4033	1967	2.03
D 16	3835	2246	1.98
D 25	5955	3102	2.05
D 32	5701	2861	1.99

2.3 使用材料

コンクリートは最大骨材寸法20mm、水セメント比55%（早強セメント使用）のレディーミクストコンクリートを使用した。またいずれの試験体も主筋

表-3 実験結果一覧

試験体	ひびわれ発生荷重 (tf)			鉄筋降伏荷重 (tf)	最大荷重 (tf)	破壊モード
	曲げ	せん断	継手部・縦			
No. 1	24	48	—	150.0	171.7	曲げ破壊
No. 2	20	44	72	153.8	161.8	継手部の定着破壊
No. 3	16	42	60	143.2	143.2	
No. 4	18	42	60	降伏せず	129.6	
No. 5	20	36	—	134.0	149.8	曲げ破壊
No. 6	18	36	72	127.7	136.3	継手部の定着破壊
No. 7	18	42	60	降伏せず	113.6	
No. 8	24	36	66	降伏せず	99.6	

には、高張力鋼（SD490）を使用している。表-2に使用した鉄筋の機械的性質の一覧を示す。これらの値は公称断面を用いて評価したものである。

3. 実験結果および検討

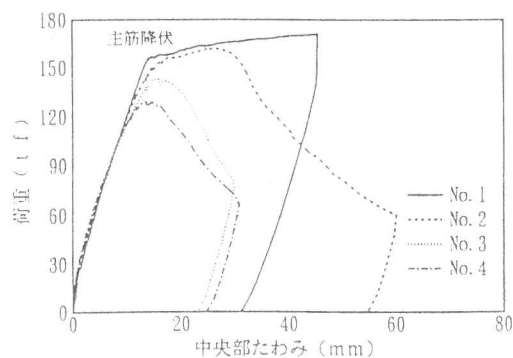
3. 1 実験結果

実験結果の一覧を表-3に示す。基準試験体(N o. 1およびN o. 5)は、曲げ破壊をしており、他の試験体はいずれも最終的には重ね継手部で定着破壊を生じた。また、図-3に各試験体の荷重と試験体中央で測定されたたわみ変位との関係を示す。同図(a)は主筋にD32を用いているN o. 1~N o. 4、(b)は主筋にD25を用いているN o. 5~N o. 8の結果である。いずれも場合も、スパイラル筋のピッチを30mmとした場合、継手耐力は主筋の降伏応力を超えていることが分かる。また、スパイラル筋のピッチが大きくなるに従い、継手耐力が低下していくことが分かる。これは、スパイラル筋による拘束効果の違いによるものと考えられる。

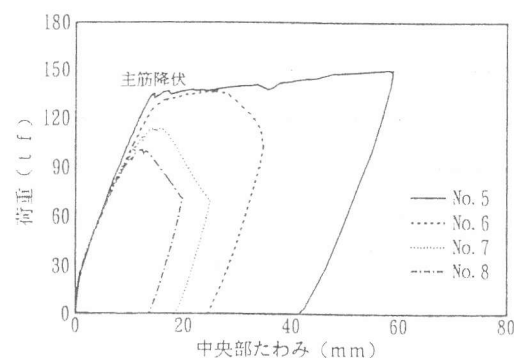
3. 2 破壊性状

図-4に各試験体のひびわれ図を示す。いずれの試験体も等曲げ区間に曲げひびわれ、せん断スパンに斜めひびわれが発生している。基準試験体(N o. 1, N o. 5)は、最終的には圧縮縁の圧壊で終局を迎えており、継手を有する試験体はいずれも継手端部の曲げひびわれ位置で鉄筋が抜け出すことで終局を迎えている。継手の有無で等曲げ区間のひびわれ性状を比較すると、継手を有する試験体では、曲げひびわれの分散性が低く、継手端部に集中しているようである。これは、継手部では主筋が二重配筋になっていること、スパイラル筋に補強されていることによるものである。

図-5は、等曲げ区間で測定された曲げひびわれ幅のうち最大のものを主筋応力を横軸にとり、基準試験体と比較したものである。重ね継手を有する試験体では、継手端部で最大ひびわれ幅が測定されている。同図には、土木学会、コンクリート標準示方書³⁾に示される曲げひびわれ幅算定式による計算値も併せて示してある。

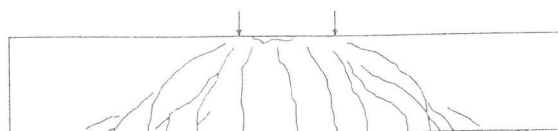


(a) 主筋D32シリーズ

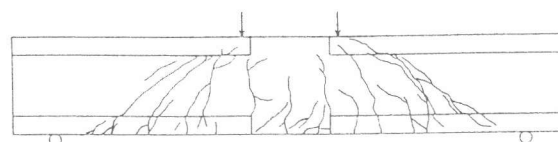


(b) 主筋D25シリーズ

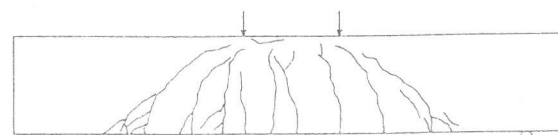
図-3 荷重-たわみ関係



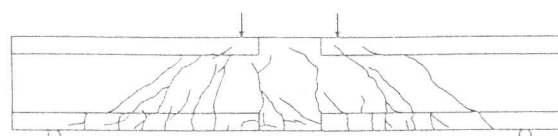
(a) N o. 1 試験体



(b) N o. 2 試験体



(c) N o. 5 試験体



(d) N o. 6 試験体

図-4 ひびわれ図

$$\omega = \{4 \cdot c + 0.7 (C_s - \phi)\} \cdot (\sigma_{se} / E_s) \quad (1)$$

ここで、 c : かぶり、 C_s : 鉄筋中心間隔、 ϕ : 鉄筋径
 σ_{se} : 鉄筋応力、 E_s : 鉄筋の弾性係数

いずれの鉄筋径においても、主筋応力が2000kgf/cm²を超えたあたりから、継手を有する試験体のひびわれ幅が、基準試験体のひびわれ幅を若干上回るようになる。これは、図-4のひびわれ図にも示されるようなひびわれ分散性の違い、および継手端部での主筋の抜け出しがひびわれ幅として表れた結果であると考えられる。しかしながら、これらの違いは、さほど顕著なものではない。これは、重ね継手においても鉄筋を拘束するような補強を施し、鉄筋の付着力を増大させ鉄筋の抜け出しを抑さえることで、端部のひびわれ幅を抑制することが可能であることを示唆している。

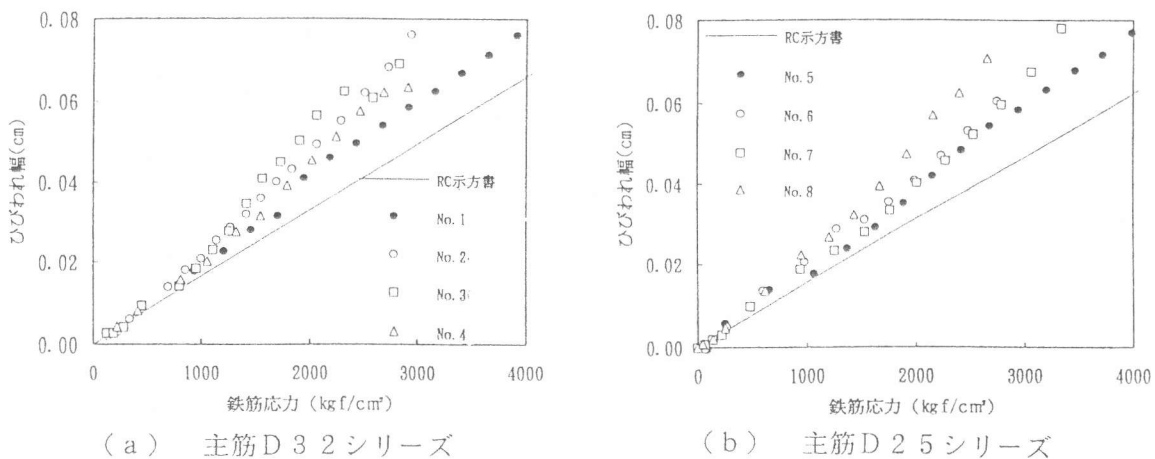


図-5 鉄筋応力とひびわれ幅の関係

3. 3 スパイラル筋による重ね継手の補強効果

(1) 重ね継手内のひずみ分布

図-6はD32を主筋とする各試験体の終局直前時に測定した重ね継手部のひずみ分布を示したものである(図-2参照)。同図に主筋の降伏ひずみを点線で示すが、スパイラル筋のピッチが小さくなると、主筋の降伏領域が重ね継手の内部に進行していくことが分かる。これは、スパイラル筋による拘束力の増加にともない、主筋の保持し得る最大付着応力が増加することによるものである。また、主筋が弾性状態にある領域でのひずみ分布を見ると、ほぼ線形状態にあることがわかる。したがって、以下本実験の重ね継手の耐力は、未降伏領域を定着長とする平均付着強度で評価することにする。

(2) スパイラル筋の応力分布

図-7は、No. 2試験体とNo. 6試験体の終局直前時に測定したスパイラル筋のひずみより算定した応力の分布を示したものである。No. 2試験体においては、終局時にスパイラル筋は、ほぼ継手全長に渡り降伏応力に達しており、No. 6試験体においてもほぼ3000kgf/cm²の高応力状態にあることがわかる。

(3) 補強効果の定式化

以上の実験結果を踏まえ、スパイラル筋による重ね継手の補強効果の定式化を以下に試みる。

スパイラル筋で補強された重ね継手の強度を次式のような累加形式を仮定して評価する。

$$\tau = \tau_0 + \tau_{sp} \quad (2)$$

$$\tau_{sp} = \tau - \tau_0 \quad (3)$$

ここで、 τ ：平均付着強度で表した

重ね継手強度 (kgf/cm²)

τ_0 ：補強筋を有しない

重ね継手の強度 (kgf/cm²)

τ_{sp} ：スパイラル筋による拘束効果で増加した
重ね継手強度 (kgf/cm²)

τ_0 については、既に多くの強度評価式が提案されているが、ここでは太径鉄筋についても精度良く評価できる角田ら⁴⁾の式を用いることにする。

$$\tau_0 / \sqrt{\sigma_c} = \frac{100}{(L/D + 20 \cdot D / \sqrt{c})} \quad (4)$$

ここで、 σ_c ：コンクリート強度 (kgf/cm²)

L：重ね継手長さ (cm)

D：鉄筋径 (cm)，c：かぶり (cm)

また、スパイラル筋を同様な半径を有する肉厚 t の等価な薄肉円筒に置き換えると、

$$t = A_s / sp \quad (5)$$

ここで、t：等価な薄肉円筒の肉厚 (cm)

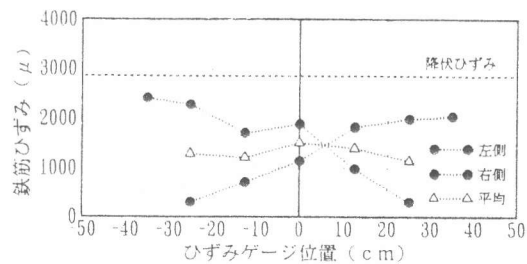
A_s ：スパイラル筋の断面積 (cm²)

sp：スパイラル筋のピッチ (cm)

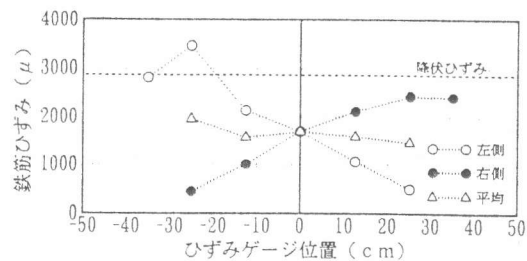
薄肉円筒の理論によれば、内圧 p が作用する時の半径 r の薄肉円筒体の応力 σ_t は、

$$\sigma_t = (r \cdot p) / t \quad (6)$$

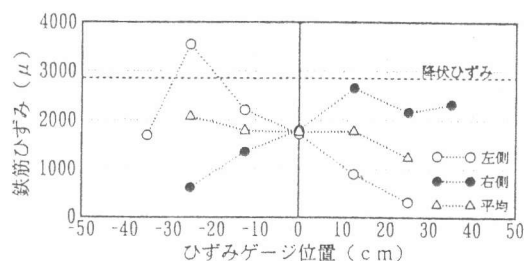
ここで、 σ_t を鉄筋の拘束応力と考えれば、



(a) No. 4 試験体



(b) No. 3 試験体



(c) No. 2 試験体

図-6 重ね継手内のひずみ分布

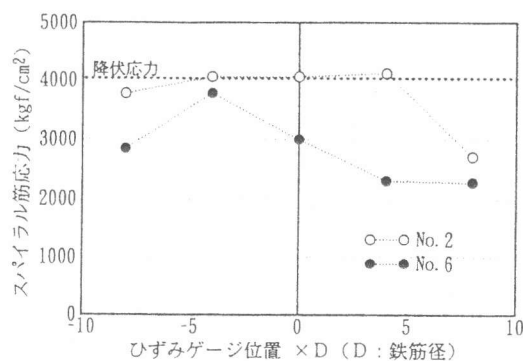


図-7 スパイラル筋の応力分布

$$\sigma_t = \sigma_{sp} \quad (7)$$

σ_{sp} : スパイラル筋の平均応力 (kgf/cm²)

と置き換えられ、スパイラル筋による重ね継手の拘束力 p は次式で表せる。

$$p = (\sigma_t \cdot t) / r \quad (8)$$

図-8は各試験体の実験結果に基づいて計算された、 p と τ_{sp} の関係を示したものである。これらの結果を原点を通る直線で回帰すると、

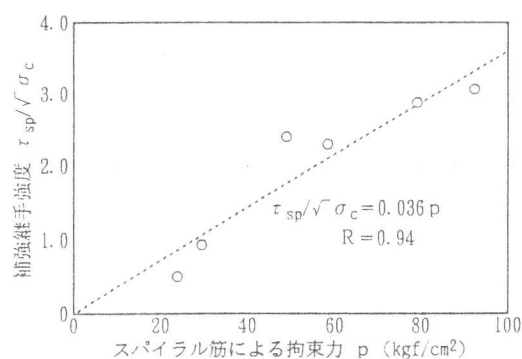


図-8 補強継手強度と拘束力の関係

$$\tau_{sp} / \sqrt{\sigma_c} = 0.036 p \quad (9)$$

となり、相関係数 $R = 0.94$ である。

なお、(9)式および(2)式を用いて、スパイラル筋により補強された重ね継手の強度を設計する際、スパイラル筋の応力度を規定する必要があるが、本実験結果の範囲では、 $\sigma_{sp} = 3000$ kgf/cm²程度が期待できそうである。

4. まとめ

本研究は、重ね継手に対するスパイラル筋の補強効果を実験的に検討したものである。本研究の範囲での結論をまとめると、以下の通りである。

- (1) スパイラル筋で適切に補強することにより、高強度の太径鉄筋 (SD490, D32およびD25) を用いた重ね継手においても重ね合わせ長さ $20D$ で、ほぼ継手のない試験体と同等の耐力を得ることができる。
- (2) 一般に重ね継手区間では、ひびわれの分散性が劣ることから、その端部のひびわれ幅が増大することが懸念されるが、本試験体の継手の場合、その割合はさほど顕著ではない。
- (3) 適切な補強を施すことで、重ね合わせ長さを減少させることは、継手端部に集中するひびわれ幅の増加を抑制することにつながる。
- (4) スパイラル筋を等価な薄肉円筒体に置き換えることで、その拘束効果を定量的に評価することができた。また、設計に利用可能な形式で、定式化することができた。

なお、本研究の実施にあたっては、埼玉大学、町田教授、ならびに睦好助教授のご指導を受けました。本文ではありますがここに記し、謝辞といたします。

【参考文献】

- 1) 高橋, 角田: 異形鉄筋の重ね継手における横補強筋の効果について, 土木学会第43回年次学術講演会, pp.712-713, 1988.10
- 2) 篠田, 原, 河野, 横沢: 鉄筋を埋設した型枠工法に関する基礎実験, 土木学会第48回年次学術講演会, pp.402-403, 1993.9
- 3) 平成3年度版, 土木学会コンクリート標準示方書, 設計編, pp.85-88
- 4) 角田, 高橋: 異形鉄筋の重ね継手における定着付着強度に関する研究, 土木学会北海道支部論文報告集, No. 38, pp.425-428, 1982