

論文

[2029] 3本束ね鉄筋重ね継手部の曲げ靱性に関する実験的研究

正会員 矢代秀雄 (日本大学生産工学部)

正会員 ○桜田智之 (日本大学生産工学部)

1. まえがき

束ね鉄筋の重ね継手長さに関する各国の規定では、束ねた鉄筋の周長欠損の割合に応じて、30%~50%の重ね継手長さの増加率を定め、継手部での応力伝達に対する影響を継手長さの延長により補う方針をとっているが、既往の研究は少なく [1], [2]、特に、塑性域での継手部の耐荷力に関しては不明な点が多い。

束ね鉄筋重ね継手の基礎となる通常のおね継手に関し、継手筋降伏以後を対象とした研究 [3], [4] では、横補強筋が継手部靱性の維持、向上に最も大きな影響要因であると報告されており、定量的評価が確立されれば、継手長さを低減することも期待できる。

本研究は3本束ね鉄筋について、重ね継手長さとおね補強筋を実験変数とし、塑性域を対象とした正負繰返し載荷により、継手部の曲げ靱性について検討したものである。

2. 実験概要

実験は図1に示す単純ばり形式として行い、重ね継手部は純曲げ区間内に設けた。3本束ね鉄筋の継手方式には図2に示す添え筋を用いる方式 (I, II, IIIタイプ) と添え筋を用いない方式 (Nタイプ) がある。黒丸は互いに応力を伝達しあう継手筋である。

実験はIタイプ及びNタイプで行った。

Iタイプの重ね継手部はそれぞれ見掛けの周長が1/6欠損鉄筋と1/3欠損鉄筋の組合せで構成されており、Nタイプでは、重ね継手部が1箇所減少するが、継手の始点と終点とで配筋の形状が変化する特徴がある。

Iタイプの試験体は重ね継手長さを20d ~ 40d (dは公称径)の範囲で変化させ、重ね継手部の横補強はそれぞれの継手長さに対し、@5cm、@10cm、@15cmの3種類 (p<sub>w</sub>=0.51%~1.34%)で計15体計画した。Nタイプは、重ね継手長さ30dについて、横補強筋間隔@5cm、@10cm、@15cmの3体計画し、継手方式の相異を検討した。

なお、合わせて継手のない3本束ね鉄筋試験体も作成した。

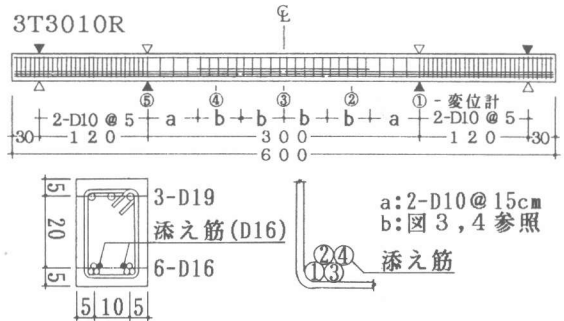


図1 試験体形状及び寸法 (単位:cm)

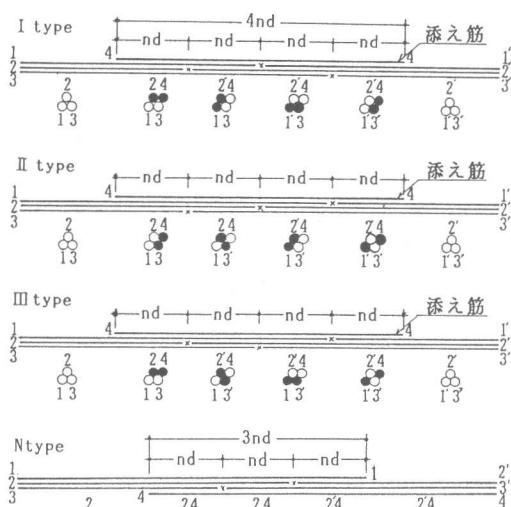


図2 3本束ね鉄筋の応力伝達

横補強筋が最も密な@5cmでは、一組の継手の両端 1/3  $\ell_e$  区間について@5cmの横補強を行い、中央の 1/3  $\ell_e$  区間は@15cm以下とした。横補強が@10cm及び@15cmの試験体では継手部を等間隔補強とした。(図3)

継手長さと同横補強筋には図4に示す規則性を持たせたが、継手長さが変化しても横補強筋数が同数の場合も生ずる。

加力は部材降伏までは荷重制御、降伏後は純曲げ区間変位による変位制御とし、降伏変位の倍数で繰返し荷重を行った。ひび割れ幅はマイクロスケープ(最小目盛り0.02mm)により引張鉄筋重心線にて測定した。

表1の使用鉄筋は各鉄筋共、横ふし型である。コンクリートは普通ポルトランドセメントによるレディミクストコンクリートで表3に実験時の強度を示す。

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 長期荷重時でのひび割れ性状

表3より長期荷重時( $\sigma_t=2000\text{kgf/cm}^2$ )の最大ひび割れ幅( $w_{\max}$ )は0.14mm~0.2mmの範囲で、概ね使用上の許容限度内に収まっている。継手のない3T0015Rの $w_{\max}=0.16\text{mm}$ と比較しても継手を設けたことによる影響はみられない。また、 $w_{\max}$ を示したひび割れは90%以上の試験体で継手端部以外の純曲げ区間にも発生しており、長期時近傍

表1 使用鉄筋の性質

使用鉄筋 (mm)	使用箇所	$\sigma_y$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{\max}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
D10	横補強筋	3730	5510
D16	下端筋	3780	5670
D19	上端筋	3700	5680

表2 コンクリートの調合

粗骨材の 最大寸法 (mm)	実験時 スランプ (cm)	水セメント比 W/C (%)	重量 (kg/m <sup>3</sup> )			
			水	セメント	砂	砂利
20.0	18.1	60.5	162	268	856	1036

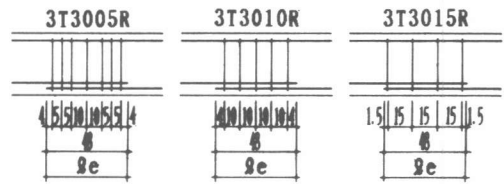


図3 一組の重ね継手部詳細(単位:cm)

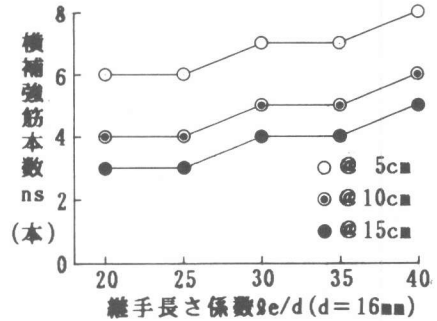


図4 継手長さと同横補強筋の関係

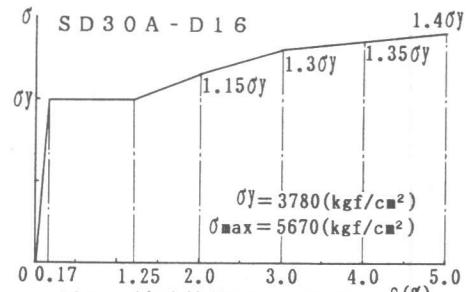


図5 継手鉄筋の $\sigma$ - $\epsilon$ 曲線

#### 試験体記号の説明

3 T 3 0 0 5 R N  
 ① ② ③ ④ ⑤

#### ①配筋方法

3 T: 3本束ね鉄筋

#### ②継手長さ

3 0: 30d (dは公称径)

#### ③継手区間の横補強筋間隔

0 5: 端部5cm間隔

1 0: 10cm間隔

1 5: 15cm間隔

#### ④加力方法

R: 正負両方向繰返し

#### ⑤継手方式

なし: 添え筋有り

N: 添え筋無し

に限れば継手端部に卓越したひび割れが発生する傾向は認められない。

図6より  $w_{max}$  に継手長さの影響はみられないが、横補強間隔が密になるに伴いひび割れ幅が減少する傾向を示しており、横補強筋が長期荷重時でのひび割れ幅の制御に有効であるといえる。また、添え筋を用いないNタイプの  $w_{max}$  は 0.16mm ~ 0.2mm でひび割れ発生本数共、Iタイプとほぼ同様の結果を示している。

### 3.2 荷重-変位関係

靱性率  $\mu$  は  $P-\delta$  曲線における継手のない試験体 (3T0015R) の降伏時変位を  $\delta_y$ 、各試験体の最大耐力時変位 (継手破壊直前の変位) を  $\delta_u$  として算定した。耐力低下はいずれも重ね継手部の付着割裂破壊によるもので、圧縮鉄筋の座屈は生じていない。

図7は横補強筋間隔ごとにまとめたもので、横補強間隔が密なほど、高靱性を示すのに対し、継手長さの延長による靱性率の向上効果は高くないことがわかる。

@5cm 補強では継手長さ25d以上の試験体が  $\mu > 5$  を示すのに対し、@15cm補強では継手長さ40dとしても得られる靱性は  $\mu < 5$  である。また、3本束ね鉄筋では1箇所の継手に付着劣化を生じて、通し筋 (図2の白丸鉄筋) の存在により、継手長さと同様の結果を示している。

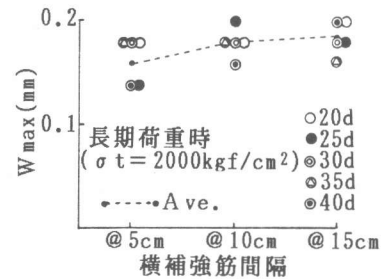


図6 横補強筋間隔と最大ひび割れ幅の関係

表3 実験結果一覧

試験体名	継手長さ $l_e$ (cm)	横補強筋 本数 $n_s$ (本)	横補強筋 比 $p_w$ (%)	コンクリート $\sigma_c$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	最大荷重 $P_{max}$ (tf)	長期荷重時			靱性率 $\mu$ ( $\delta_u/\delta_y$ )	破壊 種別
						$W_o$ (mm)	$W_{max}$ (mm)	$n$ (本)		
3T0015R	—	—	—	279	14.9	0.108	0.160	27	>8.0	C
3T2005R	32	6	1.34	299	14.8	0.098	0.180	22	4.2	cS
3T2010R	32	4	0.89	309	14.3	0.086	0.180	27	1.7	S
3T2015R	32	3	0.68	308	13.8	0.120	0.200	21	1.0	S
3T2505R	40	6	1.07	280	15.0	0.075	0.140	29	5.1	cS
3T2510R	40	4	0.71	281	15.2	0.094	0.200	28	3.1	cS
3T2515R	40	3	0.54	301	14.7	0.105	0.180	23	2.1	S
3T3005R	48	7	1.04	284	15.8	0.112	0.180	20	5.7	cS
3T3010R	48	5	0.74	295	15.5	0.094	0.180	20	4.0	cS
3T3015R	48	4	0.60	301	14.8	0.106	0.180	21	3.0	cS
3T3505R	56	7	0.90	282	15.6	0.115	0.180	21	6.0	cS
3T3510R	56	5	0.64	291	15.4	0.082	0.180	24	4.7	cS
3T3515R	56	4	0.51	285	14.9	0.065	0.140	29	3.7	cS
3T4005R	64	8	0.89	281	15.8	0.078	0.140	25	6.7	cS
3T4010R	64	6	0.67	283	15.1	0.082	0.160	23	5.0	cS
3T4015R	64	5	0.56	285	14.8	0.102	0.200	19	4.7	cS
3T3005RN	48	7	1.04	293	15.4	0.108	0.160	22	>8.0	C
3T3010RN	48	5	0.74	298	15.6	0.094	0.200	25	7.5	cS
3T3015RN	48	4	0.60	308	15.0	0.112	0.180	21	3.6	cS

$W_o$  : 平均ひび割れ幅       $n$  : ひび割れ本数      C : 曲げ圧縮破壊      S : 付着割裂破壊 (圧壊発生せず)  
 $W_{max}$  : 最大ひび割れ幅       $\mu = \delta_u/\delta_y$       cS : 付着割裂破壊 (耐力低下前に圧壊発生)

除けば、降伏耐力の75%以上を保持することができ、急激な耐力低下を生ずることはない。

### 3.3 破壊形状

Iタイプは4箇所の重ね継手（図8のA・B・C・D継手）により構成されているが、付着破壊を生ずる継手部は横補強筋量と束ね筋の配筋位置（図9）により特定できた。

各試験体共、部材降伏直後に主筋突付け部（図8 E点）及び添え筋端部（F点）に縦ひび割れの兆しがみられる。この初期縦ひび割れは継手のない3T0015Rでも同時期に発生している。変位の進行に伴い縦ひび割れは継手部内側へ進展し、付着割裂破壊に至る。

付着の劣化は束ね筋の下段内側に位置し、横補強が間接的である③及び③鉄筋継手部（C及びD継手）で進展している。図9は@5cm補強の3505Rと@15cmの3515Rの縦ひび割れの進展状況である。横補強筋により直接補強されているU字筋（①鉄筋）に対する補強が密であれば、付着破壊はD継手部で生じ、横補強が少ない場合はC継手部での破壊となる。いずれの場合も下段内側（③位置）鉄筋のスリップにより付着破壊が誘引される。

実験後、数体の断面をカットし観察したが、破壊パターンはサイド・スプリットに近い状態であった。また、どの断面でも束ね筋内部に十分な珪砂の充填が認められた。

### 3.4 継手筋のスリップ及び残留ひずみ

図10のスリップは載荷終了後、試験体側面のかぶりコンクリートを取り除き、継手筋端部に残存する珪砂を基準に実測した。

試験体により載荷終了時の変位が異なるため、実測スリップ量の直接的比較は出来ないが、耐力低下の要因となる継手部

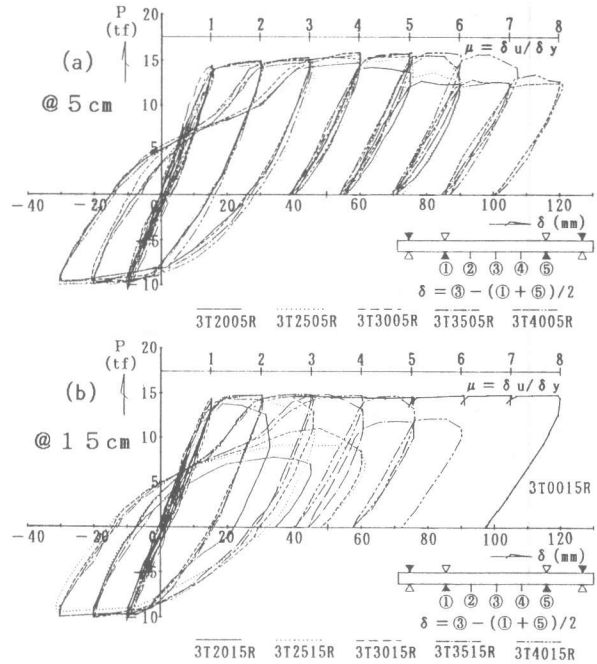


図7 荷重 - 変位曲線

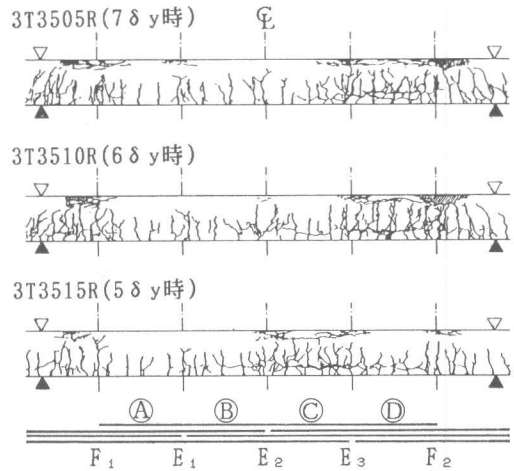


図8 最終ひび割れ状態

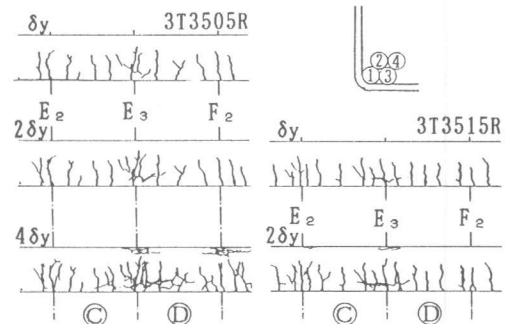


図9 縦ひび割れの進展状態

の特定及びその継手部を構成しているいずれの鉄筋が付着割裂の誘因であるかを確認出来た。すなわち、Iタイプ、Nタイプ共③位置鉄筋より初期のスリップが進行し、終局段階では、対となる継手筋の横補強量により破壊する継手部が決定する。

残留ひずみは重ね継手部を6区間に分割して実測した。1区間の基準長は使用鉄筋(D16)の10節区間で、残留ひずみは基準長に対する各区間の伸びより算定した。図11より約3%の最大残留ひずみが認められ、これは図5に示す主筋降伏応力の1.3倍に相当し、局部的にはかなりの高応力を伝達している。

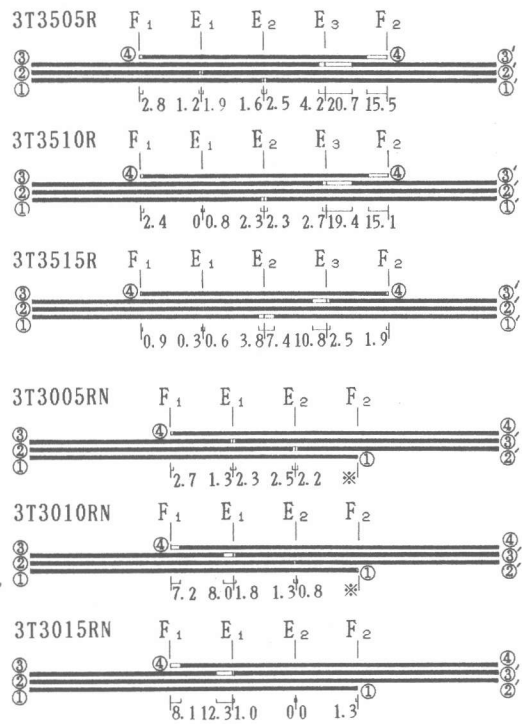
横補強筋についても継手筋と同様の方法で実測した。最大残留ひずみは0.4%~0.6%で横補強筋の降伏ひずみを若干上回る程度であった。図12より横補強筋位置による規則性はみられず、繰返し載荷に伴い継手筋に対する拘束が均一化していくものと思われる。また、残留ひずみ量には横補強間隔による相違がみられず、一本の横補強筋による拘束域は比較的狭いことがうかがえ、文献[3]と同様の傾向を示している。

### 3.5 継手部の曲げ靱性

本項では塑性域での継手部の耐荷力を靱性率( $\mu$ )により評価した。

図13は継手長さ( $l_e/d$ )と $\mu$ の関係である。 $l_e/d=20\sim25$ の継手長さが短い場合に $\mu$ の増加率が高くなっているが、全体的には、継手長さを5d延長して得られる $\mu$ の増加は@5cmで0.3~0.9、@15cmで0.7~1.1であり、継手長さの増加による靱性の向上はさほど顕著でない。また、@5cm補強は@10cm、@15cm補強に比し、 $\mu$ が2前後高く横補強筋による効果が著しい。

図14は $\mu$ と横補強筋比( $p_w$ )の関係で、 $p_w$ の増加に伴い靱性はほぼ直線



※:測定不能  
図10 実験後の継手筋のスリップ状態(単位:mm)

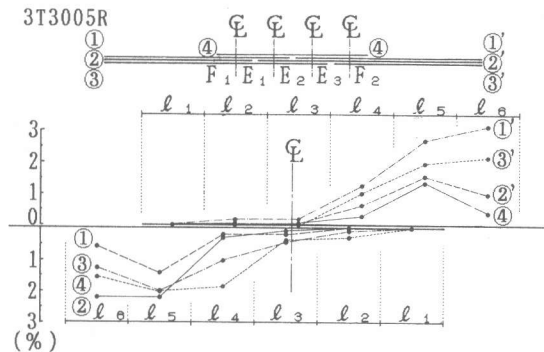


図11 継手筋の残留ひずみ

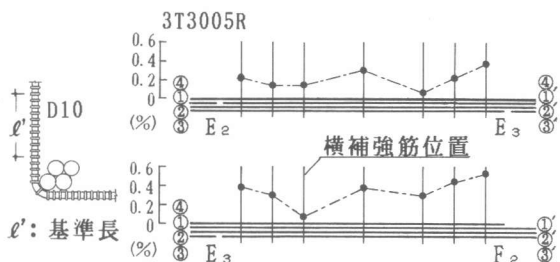


図12 横補強筋の残留ひずみ

的に向上している。20dは1ランク低い靱性を示し、継手長さが基本的に不足しているものと思われる。

図15は横軸を継手部の横補強筋総断面積 ( $ns \cdot aw$ ) とした場合である。25d以上では同一の  $ns \cdot aw$  での靱性率のバラツキは概ね1以内であり、継手長さによる靱性の向上は前述のごとく顕著でない。

以上の考察を基に継手長さと横補強筋の2変数を含む実験式の誘導を試みた。

図16は横軸に  $\sqrt{l_e/d} \cdot pw$  をとり、図17は  $\sqrt{l_e/d} \cdot ns \cdot aw$  とした場合である。横補強筋の影響を  $ns \cdot aw$  として評価した場合に、継手長さ20dの試験体を含んでも  $\gamma=0.96$  の高い相関が得られ、回帰直線もほぼ原点を通る式として表せた。

本式は限られた実験条件 (特に繰返し回数に関し) によるもので、定量的評価に解決すべき点が残されているが、塑性域を対象とした場合、継手長さの増加により靱性の向上を期待するのにならば、横補強筋に依存した設計法が効果的である事を示している。

#### 4. まとめ

3本束ね鉄筋の重ね継手部の性状について次の結果を得た。(1)長期荷重時での最大ひび割れ幅は0.2mm以内で使用上の限度内といえる。(2)付着破壊を生ずる継手部を横補強筋量と束ね筋の配筋位置により特定することが出来る。(3)継手長さ及び横補強筋と靱性率の関係を次式で表すことが出来た。(Iタイプ)

$$\mu = \alpha \cdot \sqrt{l_e/d} \cdot ns \cdot aw \quad (\alpha: \text{係数})$$

(4)添え筋を用いないタイプ<sup>o</sup>の靱性は継手長さ30dに限ればIタイプより良好であった。

#### 参考文献

- [1] 後藤、大塚：束ね鉄筋の重ね継手に関する研究、土木学会第33回年次学術講演概要集、1978、pp.379-380
- [2] 矢代、桜田：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、1987、pp.145-146
- [3] K. Lukos, P. Gergely, and R. N. White: Behavior of Reinforced Concrete Lapped Splices for Inelastic Cyclic Loading, ACI Journal, Sept.-Oct., 1982, pp. 355-365
- [4] T. Reznansoff, J. A. Zaccaruk, and R. Topping: Tensile Lap Splices in Reinforced Concrete Beams under Inelastic Cyclic Loading, ACI Journal, Jan.-Feb., 1988, pp. 46-52

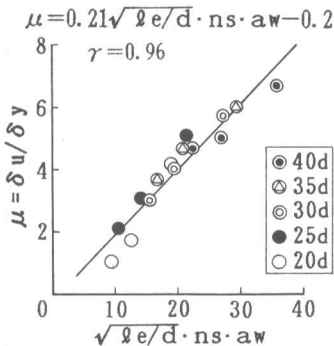


図17  $\mu - \sqrt{l_e/d} \cdot ns \cdot aw$  の関係

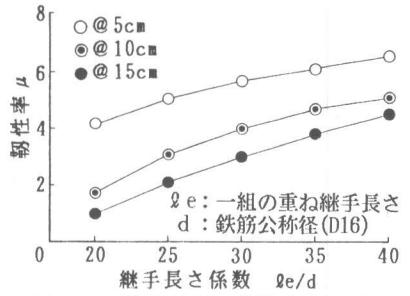


図13 継手長さと靱性率の関係

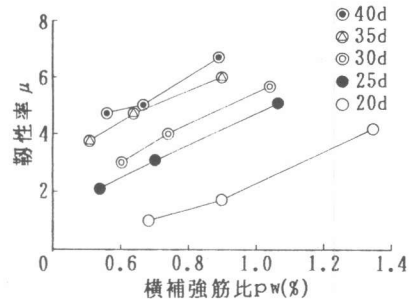


図14 横補強筋比と靱性率の関係

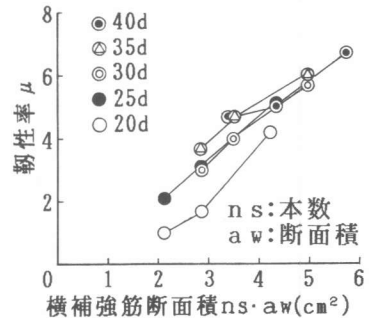


図15 横補強筋総断面積と靱性率の関係

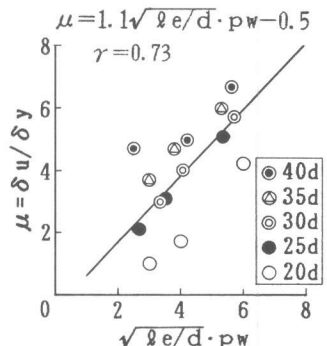


図16  $\mu - \sqrt{l_e/d} \cdot pw$  の関係