

# 論文 定着部を有する簡易補強材を用いた RC 造有孔梁の補強効果に関する研究

前口剛洋\*1・出光 隆\*2・山崎・竹博\*3・日比野 誠\*4

要旨：RC造有孔梁の補強において、今日一般的に使用されている市販簡易補強材は円形、矩形もしくは多角形の閉鎖型に加工して構成された一体型であり、補強材としてコンクリートと一体化する定着部分が明確にされていない。本研究では従来の補強方法を基本として考案した定着部を有する簡易補強材を提案し、この提案簡易補強材と一体型の簡易補強材とで補強した有孔梁試験体のせん断実験を行ない、力学的な補強効果を実験的に比較検討した。また、鉄筋径が異なる提案簡易補強材の定着性状も検討した。

キーワード：鉄筋コンクリート造、有孔梁、簡易補強材、せん断耐力、定着長

## 1. はじめに

今日の鉄筋コンクリート造有孔梁の孔部周辺補強方法は、従来型の斜め筋による補強方法から施工性の改善を主目的として開発された既製の簡易補強材で補強する方法が一般的となってきた。しかし、これまでに種々の簡易補強材が使用されているが、これらの補強材は円形、矩形もしくは多角形の閉鎖型に加工して構成された一体型であり、コンクリートの補強材としての定着性が明確にされていないことや、補強した有孔梁のせん断強度実験値が評価基準設計式（広沢修正式）で求めたせん断強度を上回る割合が無孔梁のそれに比べて小さいことなどの問題点が指摘されている。これらの補強材を用いる場合には、設計式に低減率を乗じてせん断強度を修正して設計し、十分に余裕を持った強度確保の必要性がいわれている [3]。

そこで本研究では、斜め筋を主体とした従来の補強方法を基本とした簡易補強材を提案し、この提案簡易補強材と一体型の簡易補強材を用いて補強した有孔梁試験体のせん断実験を行ない、それぞれの補強効果を実験的に比較検討した。また、提案補強材の形状は孔部の上下で分離する型の定着部を有する補強材であるところに特徴がある。本報告では提案簡易補強材の鉄筋径の違いによる定着性能の影響も明らかにする目的で定着部の付着実験も加えて検討した。

## 2. 有孔梁せん断実験

### 2. 1 試験体

本実験に用いた有孔梁試験体の形状寸法を図-1に示す。試験体は梁断面  $b \times D = 25 \times 40 \text{mm}$  ( $d = 35 \text{mm}$ )、全長  $244 \text{cm}$ 、せん断スパン比  $a/d = 1.429$ 、開孔位置はせん断スパンおよび梁せいの中央位置とし、開孔直径  $H_e = 133 \text{mm}$  ( $H_e/D = 1/3$ ) とし

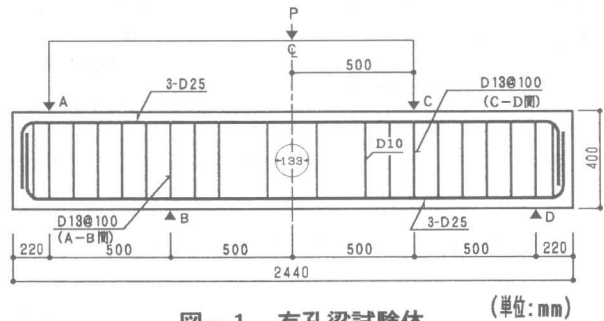


図-1 有孔梁試験体 (単位: mm)

\* 1 西日本工業大学助手 工学部建築学科 (正会員)  
 \* 2 九州工業大学教授 工学部設計生産工学科、工博 (正会員)  
 \* 3 九州工業大学助教授 工学部設計生産工学科、工博 (正会員)  
 \* 4 九州工業大学大学院 工学部設計生産工学科

て、曲げ降伏に先行してせん断破壊するように設計した。

試験体の種類は有孔梁試験体の比較の基準となる無孔梁試験体（Nタイプ）、Nタイプ試験体のせん断スパン中央位置に貫通孔を設けた無補強有孔梁試験体（Oタイプ）、斜め筋とリング筋とで構成した孔部上下で分離した型の定着部を有する提案補強材で補強した提案補強有孔梁試験体（KNタイプ）、そして今日一般的に使用されている一体型の既製簡易補強材で、円形と多角形の2形式の補強材を用いたそれぞれ円形補強有孔梁試験体（Rタイプ）と多角形補強有孔梁試験体（MAタイプ）の5種類で各3体、合計15体である。試験体の一覧を実験結果と共に表-2に示し、各タイプの補強材詳細および補強材取り付け図を図-2、3に示す。

## 2. 2 試験方法

荷重方法は図-4の試験装置に示すように、曲げによる影響を少なくするため逆対称曲げモーメント形式とし、一方向単調荷重とした。また、支点には曲げ変形による水平移動の拘束を少なくするためテフロンシートを設置した。加力は200 t 万能試験機を用いて荷重し、荷重はロードセルで変位は2個の変位計を用いて剪断スパンにおける支点間相対変位を測定した。歪みは最大曲げモーメントが生じる支点位置の主筋と孔際の肋筋および補強材の孔接線と対角線部にストレインゲージを貼り測定した。

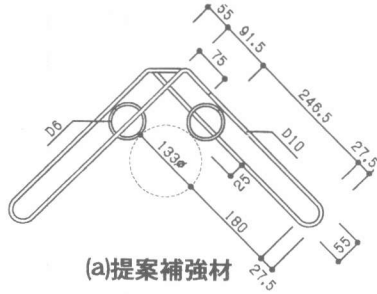
表-1 材料試験結果

(a) 肋筋、主筋(D10, D13:SD295A, D25:SD345)

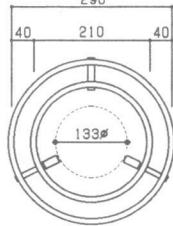
呼び名	使用箇所	降伏点強度 $\sigma_y$ (kg/mm <sup>2</sup> )	引張強度 $\sigma_t$ (kg/mm <sup>2</sup> )
D10	肋筋(B-C間)	33.3	49.3
D13	肋筋(A-B, C-D間)	37.8	56.5
D25	主筋	37.0	54.6

(b) 補強材(D10:SD295A)

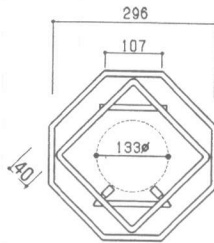
試験片名 (D10)	使用箇所 (試験体名)	降伏点強度 $\sigma_y$ (kg/mm <sup>2</sup> )	引張強度 $\sigma_t$ (kg/mm <sup>2</sup> )
提案補強材	KN型試験体	33.3	49.3
円形補強材	R型試験体	35.9	50.8
多角形補強材	MA型試験体	37.5	51.9



(a)提案補強材

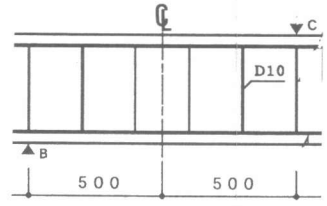


(b)円形補強材

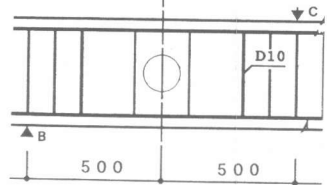


(c)多角形補強材

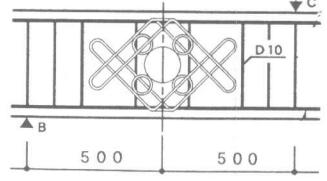
図-2 補強材詳細



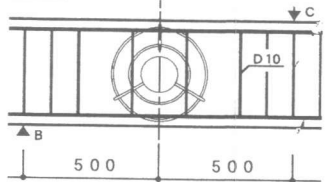
(a)N型(無孔梁)



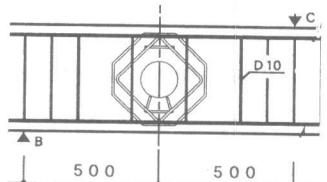
(b)O型(無補強)



(c)KN型(提案補強)



(d)R型(円形補強)



(e)MA型(多角形補強)

図-3 補強材取付図

### 3. 実験結果および考察

#### 3. 1 セン断耐力

せん断試験の結果を表-2に示した。以下に実験結果を基に各試験体の最大せん断耐力および実験値と計算値との関係等についての比較検討を行なう。

表-2からいずれのタイプの試験体も最大耐力のパラツキは小さいことが判る。それぞれの有孔梁試験体の補強効果を無補強有孔梁試験体（Oタイプ）および無孔梁試験体（Nタイプ）のせん断耐力で比較検討すると、RタイプとMAタイプはOタイプに対して共に約40%の増加がみられるものの、Nタイプより僅かに小さい値を示した。KNタイプはOタイプに対して75%もの増加がみられ、Nタイプよりも大きい値を示し、著しい補強の効果が得られた。

また、各試験体の耐力の計算値に対する割合は、いずれの有孔梁試験体も約1.1以上の値を示しているが、中でもKNタイプの試験体は1.3程度の高い値を示し、無孔梁試験体の割合とほぼ同等の値を示した。図-5は各タイプのせん断耐力からOタイプせん断耐力を差し引いた値が、各タイプでの補強材が負担するせん断耐力であるとして、それぞれの簡易補強材の補強効果の割合を概算的に推定したものである。

同図よりRおよびMAタイプに用いた補強材が負担するせん断耐力の実験値は計算値を下回ったが、KNタイプでは実験値が計算値を上回ることが確認された。

#### 3. 2 変位性状

図-6に各試験体の荷重-変位曲線の一例を示す。図よりいずれの有孔梁試験体も荷重初期に発生する孔部対角線ひび割れ発生荷重の差は

少なく、そのひび割れ発生による剛性の低下も小さい。Oタイプの試験体は孔部接線ひび割れが最大荷重の90~95%付近で発生し、その直後に最大荷重に達するが、補強材を用いた有孔梁試験体はいずれも孔部接線ひび割れ発生時に最大荷重に達した。この時、孔部接線ひび割れ発生時にR、MAタイプの試験体は僅かに剛性の低下が見

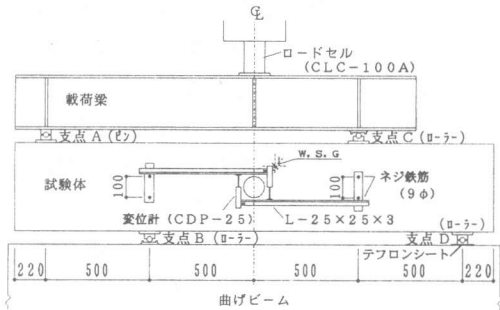


図-4 実験装置

表-2 実験結果

試験体記号 試験体名	No	開口部 補強方法 C区間	開口部 補強筋比 sPwo (%) rPwo (%)	実験値				計算値*	最大荷重 時支点間 相対変位 δ (mm)
				最大荷重 Pmax (tf)	せん断耐力 eQs (t)	平均せん断耐力 eQsa (t)	せん断耐力 cQsu (t)		
N 無孔梁	1	-	0.29 (肋筋比)	76.6	25.5	25.5	19.1	1.33	12.1
	2			75.6	25.2				11.7
	3			77.0	25.7				11.7
O 無補強 有孔梁	1	垂直筋	0.38	46.8	15.6	15.5	13.3	1.17	3.7
	2			48.1	16.0				4.9
	3			45.0	15.0				3.0
KN 提案補強 有孔梁	1	垂直筋 + 補強材	0.38	81.2	27.1	27.0	20.3	1.33	7.5
	2			82.0	27.3				6.9
	3			79.8	26.6				6.0
R 円形補強 有孔梁	1	垂直筋 + 補強材	0.38	65.8	21.9	21.9	20.7	1.06	5.5
	2			67.2	22.4				4.2
	3			64.0	21.3				5.0
MA 多角形補強 有孔梁	1	垂直筋 + 補強材	0.38	63.8	21.3	22.2	20.9	1.06	5.1
	2			66.5	22.2				5.8
	3			69.3	23.1				5.5

<共通事項>  
 ・試験体断面:  $b \times D = 25 \times 40$  cm ( $d = 35$  cm)  
 ・開口径:  $He = 133 \phi$  ( $D/3.0$ )  
 ・主筋 (SD345): 上端筋 3-D25 (Pt = 1.738%)  
                   下端筋 3-D25  
 ・肋筋 (SD259A): D13@100 (A-B, C-D間,  $Pw = 1.016\%$ )  
                   D10@200 (B-C間, 肋筋比  $Pw = a_w/b \times 0.286\%$ )  
 ・せん断スパン比:  $a/d = 1.428$   
 ・補強筋有効範囲:  $C = 15$  cm  
 ・コンクリート圧縮強度 (外気養生)  
 $F_c = 23.1 \text{ kg/cm}^2$  (材令: 28~35日)

[計算式]  
 ○無孔梁 (荒川式)  
 $cQs = \frac{M/(Q \cdot d) + 0.12}{2.7/Pw + wgy/b \cdot j} + 2.7/Pw + wgy/b \cdot j$   
 ○有孔梁 (広沢式)  
 $cQsH = \frac{M/(Q \cdot d) + 0.12}{2.7/Pw + wgy/b \cdot j} (1 - 1.61He/D)$   
 [記号]  $Ku$ : 有効せいdによる補正係数  
 $Kp$ : 引張鉄筋比Ptによる補正係数  
 $F_c$ : コンクリート強度 ( $\text{kg/cm}^2$ )  
 $M$ : せん断スパン比  
 $He$ : 開口径 (cm)  $b$ : 梁幅 (cm)  
 $D$ : 梁せい (cm)  $j$ : 応力中心間距離 (cm)  
 $Pwo$ : 孔周囲の有効補強筋比 (C区間内)  
 $Pwo = \sum a_s (\sin \theta + \cos \theta) / b \cdot C$   
 $C$ : 孔周囲補強筋の有効な範囲 ( $= D/2 - d$ )  
 $wgy$ : 補強筋降伏点強度 ( $\text{kg/cm}^2$ )

られたが、KNタイプの試験体には孔部接線ひび割れ発生による剛性低下は見られなかった。

### 3. 3 筋筋と補強材のひずみ性状

図-7にKNタイプの筋筋と補強材の荷重-ひずみ関係の一例を示した。孔際の筋筋は対角線ひび割れが発生する付近からひずみに変化が表れているが、簡易補強材のひずみはそれ以前の荷重時より変化しており、簡易補強材のせん断力に対する補強効果が伺える。

### 3. 4 ひび割れおよび破壊状況

図-8にKNタイプの試験体の最終破壊状況の一例を示す。無孔梁試験体のひび割れ進展状況は、最大曲げモーメントが生じる支点上部付近に曲げひび割れが発生し、続いてせん断ひび割れが最大荷重の約35~40%で発生する。その後、せん断ひび割れは縁方向に進展しながら主筋に沿った付着割裂ひび割れを誘発し、このひび割れが卓越してせん断ひび割れを伴った最終破壊に至った。有孔梁試験体のうちOタイプの試験体は、孔部対角線ひび割れによる破壊モードがほとんどであったが、一部に孔部接線ひび割れを伴って最終破壊にいたった試験体も見られた。これは孔際の筋筋のせん断補強効果によるものと考えられる。一方、補強材を取り付けた有孔梁試験体のひび割れ進展状況は、いずれのタイプも支点上部の曲げひび割れ、孔部対角線ひび割れ、曲げせん断およびせん断ひび割れ、付着割裂ひび割れ、孔部接線ひび割れの順に発生する。3タイプの主な破壊モードの相違点は、R、MAタイプは孔部接線破壊によるものであるが、KNタイプでは主筋の付着割裂を伴ったせん断ひび割れ位置での破壊がほとんどであった。また、最大荷重の70~80%付近で発生する孔部接線ひび割れの発生荷重も他の2タイプに比べ大きい値を示した。

## 4. 定着部実験

### 4. 1 研究目的および検討事項

本実験は提案補強材の定着性状を調べるため、主に次の3項目について実験的に検討した。

①本提案補強材の定着法において、鉄筋径 (D10, D13) の違いによる定着性能への影響を調べる。

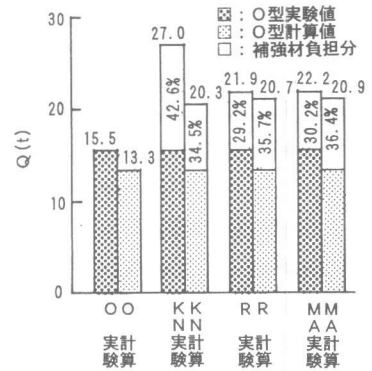


図-5 補強材の剪断耐力負担割合

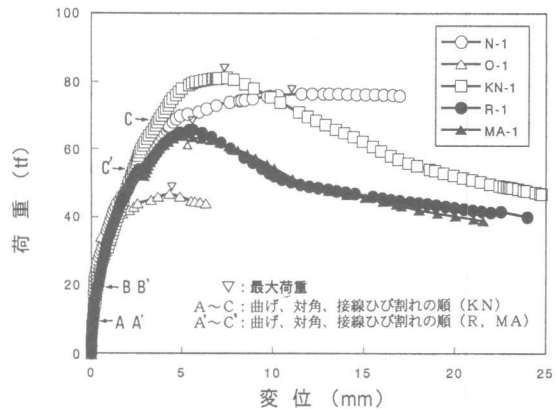


図-6 荷重-変位曲線

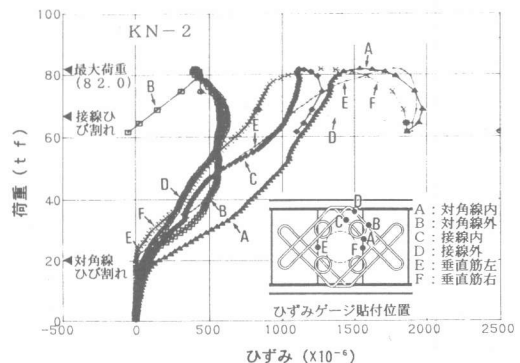


図-7 荷重-ひずみ曲線(筋筋、補強材)

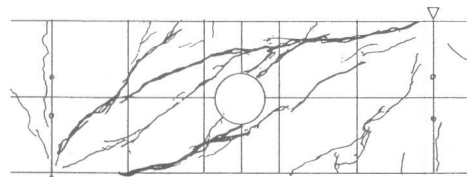


図-8 最終破壊状況例 (KN-1)

②一般的な補強方法と本提案補強材の付着性能の違いを調べる。③異型鉄筋D13を用いて製作した本提案補強材の必要定着長を推定する。

#### 4. 2 供試体および試験方法

供試体の種類を実験結果と共に表-3に示し、それらの形状寸法の一例を図-9に示す。材質及び形状寸法は実用の提案補強材と同一のものとした。なお、本提案補強材の定着部と同一形状で鉄筋径がD10のKDタイプ供試体は前報告したものを用いた[1]。本実験に用いたコンクリートの圧縮強度は $\sigma_c=300\text{ kg/cm}^2$ であり、鉄筋(D13:SD295A)の降伏点強度および引張強度はそれぞれ $\sigma_y=34.3\text{ kg/mm}^2$ 、 $\sigma_t=52.3\text{ kg/mm}^2$ である。実験は日本コンクリート工学協会提案の引抜試験法に準じて行なった。すなわち、図-9に示す直方体のコンクリートに変位測定用器具を取り付け、試験機上部に支圧板を介して供試体を設置し、鉄筋に溶接した鋼板を下方方向に引張る方法とした。荷重は万能引張試験機により約10kgf/sの速さで載荷した。すべり量の測定には1/1000mm目盛りの変位計を用いた。測定箇所は引抜きの際に、鉄筋の伸びによる変位も考えられることから、自由端と加力端の2ヵ所で測定した。また、加力端側は偏心して引抜かれる場合があるため引抜き鉄筋にアングルを設置し、左右2ヵ所で測定してその平均を求めた。

#### 4. 3 実験結果及び考察

表-3に示す実験結果の荷重欄では自由端側の滑り量が0.05mm、加力端側の滑り量(変位)が0.25mmに達した時の荷重を、滑り量欄では露出鉄筋2本のいずれかが降伏したときの自由端、加力端側の変位量を示した。

図-10は各タイプ供試体の埋込み長と露出鉄筋が降伏したときの自由端側の滑り量との関係を示したものである。図によれば、いずれの供試体も滑り量は埋込み長に反比例して小さくなっていることがわかる。各供試体の埋込み長と滑り量の関係は、埋込み長が短い10cm、14cmでは各タイプごとで滑り量に顕著な差が見られ、定着法および鉄筋径の違いによる影響が表れている。しかし、埋込み長が長い21cmではいずれのタイプも滑り量が0.03mm以下の値を示し、その差も小さいことから定着法および鉄筋径の違いによる影響は少ないと考えられる。

#### 5. まとめ

本実験は定着部を有する補強材(提案補強材)と閉鎖型に加工された一体型補強材との補強効果の違いを実験的に比較検討したものである。その結果、補強材の形式によって変形状、ひび割れおよび破壊性状等に違いが生じ、提案補強材で補強した試験体が大きいせん断耐力を示した。本実験のように梁せいに対する開孔径の比が比較的大きい場合( $H_e/D \approx 1/3$ )の有孔梁の最終破壊形式は、孔部接線ひび割れ位置での破壊が多いことから、提案補強材の形状のように、その接線ひび割れに直交する補強筋(斜め筋)が配置され、かつその補強筋がひび割れの少ない断面部位へ定着していることが接線ひび割れを遅らせる要因となり、せん断耐力の向上につながったものと考えられる。以下に本実験より得られた知見をまとめると次のことがいえる。

①本実験によれば定着部を有する提案簡易補強材で補強した有孔梁試験体は、円形および多角形の一体型の簡易補強材で補強した有孔梁試験体に比べ、高いせん断補強効果が得られた。

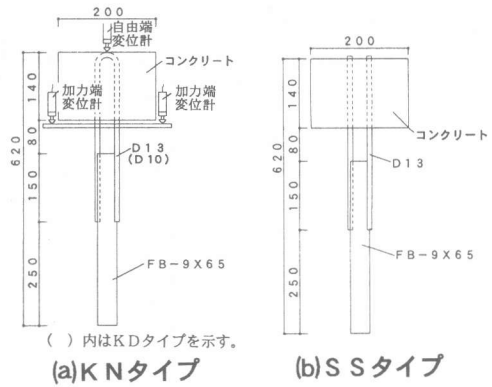


図-9 供試体

表-3 実験結果

鉄筋径	供試体名	No.	埋込み長 L (cm)	荷重*1 P <sub>a</sub> (kg)	荷重平均値 P <sub>a</sub> (kg)	鉄筋降伏時自由 端滑り量 (mm)	荷重*2 P <sub>b</sub> (kg)	荷重平均値 P <sub>b</sub> (kg)	鉄筋降伏時加力 端滑り量*3 (mm)	
D10	KD10	1	10	2780	3230	0.14	3253	3320	0.35	
		2		3560		0.08 (0.10)			3653	0.36 (0.41)
		3		3345		0.09			3067	0.52
D10	KD14	1	14	※*4	4490	0.02	4385	3900	0.19	
		2		4373		0.04 (0.04)			4100	0.27 (0.35)
		3		4600		0.05			3220	0.58
D10	KD21	1	21	4833	4800	0.04	3734	3560	0.46	
		2		※		0.02 (0.03)			3005	0.50 (0.42)
		3		4765		0.04			3950	0.30
D13	KN10	1	10	4613	4050	0.15	5709	5550	0.40	
		2		3273		0.38 (0.27)			5704	0.51 (0.49)
		3		4250		0.29			5224	0.57
D13	KN14	1	14	6550	6590	0.05	4856	6060	0.38	
		2		6925		0.06 (0.06)			8048	0.17 (0.29)
		3		6300		0.08			5262	0.34
D13	KN21	1	21	※*4	※	0.01	8456	8630	0.13	
		2		※		0.01 (0.01)			8776	0.14 (0.17)
		3		※		0.01			8655	0.23
D13	SS10	1	10	2775	2810	0.41	4745	4370	0.44	
		2		2647		0.64 (0.56)			4023	0.84 (0.69)
		3		3000		0.64			4330	0.78
D13	SS14	1	14	5813	6050	0.08	6811	7050	0.25	
		2		6100		0.07 (0.09)			7940	0.19 (0.28)
		3		6233		0.12			6384	0.41
D13	SS21	1	21	9060	8880	0.02	8077	7610	0.21	
		2		※		0.01 (0.02)			7538	0.27 (0.28)
		3		8700		0.04			7200	0.36

\*1), \*2) Pの添字 a, bはそれぞれ a: 0.05mm (自由端), b: 0.25mm (加力端) 変位時の数値を意味する。  
 \*3) 鉄筋降伏時加力端滑り量とは、露出鉄筋の左右どちらかが降伏点に達した時点での平均滑り量。  
 \*4) 荷重項の※印は、自由端の滑り量が0.05mmまで達していないことを示す。  
 \*5) 試験体3体の平均値を示す。  
 尚、コンクリート圧縮強度  $\sigma_c$  は、KDタイプ  $\sigma_c=308\text{kgf/cm}^2$ , KN, SSタイプ  $\sigma_c=300\text{kgf/cm}^2$  である。  
 鉄筋D10, D13の降伏点強度  $\sigma_s$  は、それぞれ  $1.0\sigma_s=32.8\text{kgf/mm}^2$ ,  $1.3\sigma_s=34.3\text{kgf/mm}^2$  である。

また、広沢式による計算値を1.3倍上回り、無孔梁試験体のその割合とほぼ同じ値を示した(表-2参照)。②簡易補強材の補強効果は、補強材を用いない試験体と補強した試験体の耐力差から概算的に求めて評価できるものと考えられる(図-5参照)。③本定着法での鉄筋径(D10, D13)の違いによる定着性状への影響を鉄筋降伏時の自由端の滑り量で比較すると、埋込み長が短い場合はKDタイプ(D10)の滑り量が小さいが、14cm以上では鉄筋径の違いによる影響は少ないことがわかった(図-10参照)。④KNタイプとSSタイプを比較すると、埋込み長の長い両タイプとも良好な定着性を示すが、埋込み長が短くなるとKNタイプが高い定着性を示す(図-10参照)。

[参考文献]

(1)前口剛洋, 出光隆, 山崎竹博, 渡辺明: 簡易補強材を用いたRC造有孔梁補強方法の改善についての実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集 第16巻 第2号 pp. 383-388, 1994.6 (2)前口剛洋, 出光隆, 山崎竹博, 渡辺明: 鉄筋コンクリート造有孔梁の簡易補強方法に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集 第15巻 第2号 pp. 299-308, 1993.6 (3)日本建築センター: 鉄筋コンクリート造はり貫通孔補強材の評価について、ビルインテグラー, 第291号, pp. 55-56 1992.12 (4)日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 1988. pp. 273-276, 1990

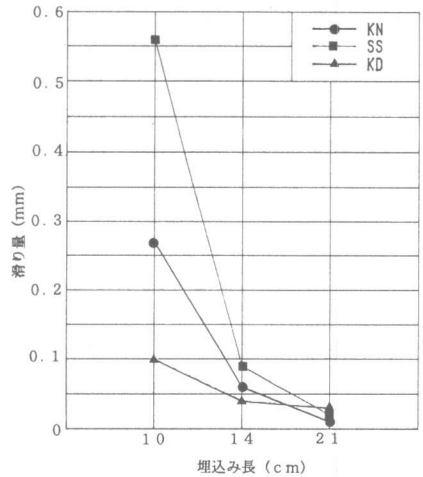


図-10 埋込み長と滑り量との関係 (露出部鉄筋降伏時、自由端側)