

論文

[2063] 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

前口 剛洋\*<sup>1</sup>・出光 隆\*<sup>2</sup>・山崎 竹博\*<sup>3</sup>・渡辺 明\*<sup>4</sup>

1. まえがき

本研究は、鉄筋コンクリート造有孔梁の開口部周辺補強において、従来の補強方法の問題点をふまえ、施工性に重点をおいた実用的な補強金物を提案し、これからの RC 造有孔梁の施工の簡素化及び省力化を図るとともに、施工精度の向上並びに安全施工に寄与することを目的としたものである。本提案補強金物の有効性の確認は、現場における施工性（現場実験）と力学的な補強効果（せん断実験、付着試験）の両面から実験的に検討した。なお、現場実験における結果および検討については既報で報告した [2]。本論文は、主に改良型補強金物を用いた有孔梁剪断実験と補強金物の付着試験に関する検討結果をまとめたものである。

2. 実験計画（剪断実験）

2. 1 有孔梁試験体

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  $b \times D = 25 \times 40 \text{ cm}$  ( $d = 35 \text{ cm}$ )、全長  $230 \text{ cm}$ 、剪断スパン比  $a/d = 1.428$ 、開口位置は剪断スパン及び梁せいの中中央位置に設け、開口径  $H_e = 133 \text{ mm}$  ( $H_e/D = 1/3$ ) とし、曲げ降伏に先行して剪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試験体に貫通孔を設け、十分な定着長を有する斜め筋で孔部周辺を補強した従来型有孔梁試験体（Cタイプ）、従来の提案補強金物で開口補強した従来型補強有孔梁試験体（Kタイプ） [1]、そして従来型提案補強金物に改良を加えて強度及び品質の向上を図った改良型補強金物で補強した鉄筋製改良型有孔梁試験体（KNタイプ）と鋼板製改良型有孔梁試験体（PNタイプ）の5種類で、それぞれの種類について3体、合計15体である。補強金物取付け図及び補強金物詳細図を図-2、3に示す。また、本実験に使用した材料試験結果を表-1に示す。

2. 2 試験方法

試験は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、一方向単調荷とした。図-4に試験装置を示す。加力は200トン万能試験機を用いて荷重し、測定方法は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、孔際の肋筋及び補強金物に歪みゲージを貼付し測定した。

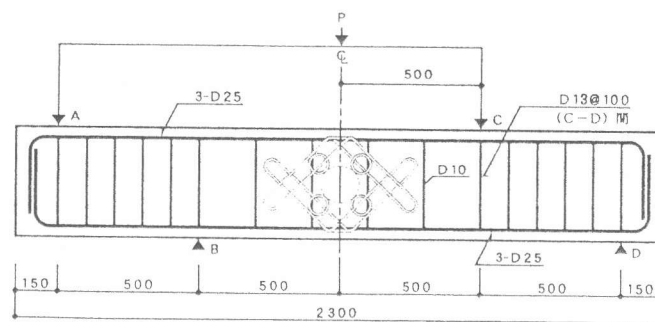


図-1 有孔梁試験体 (単位: mm)

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

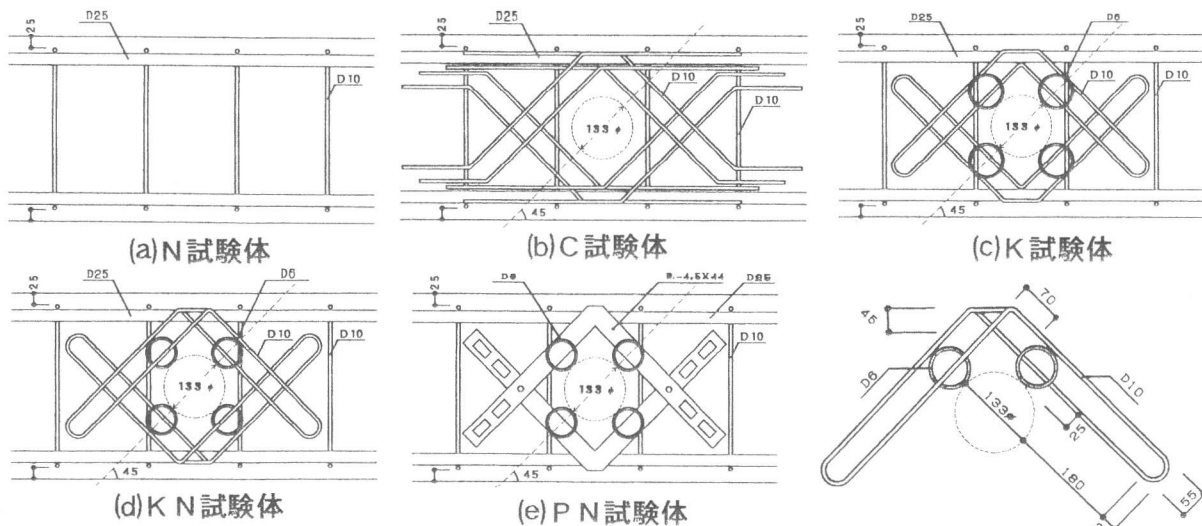


表-1 材料試験結果

a) コンクリート (φ10×20cm, 既製)

材令 (H)	スランブ (cm)	圧縮強度 $\sigma_c$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	弾性係数 $E_{2/3}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
28	18	250	$2.4 \times 10^5$
34		257	
38		267	

b) 鉄筋 (D10-D13:SD295A, D25:SD345)

呼び名	使用箇所	降伏点強度 $\sigma_s$ (kgf/mm <sup>2</sup> )	引張強度 $\sigma_t$ (kgf/mm <sup>2</sup> )
D10	筋筋(B-C), 補強金物	32.8	48.2
D13	筋筋(A-B, C-D間)	35.5	52.8
D25	上筋	37.1	56.1

c) 鋼板 (SS400)

試験片	使用箇所	降伏点強度 $\sigma_s$ (kgf/mm <sup>2</sup> )	引張強度 $\sigma_t$ (kgf/mm <sup>2</sup> )
FR-4.5x44	補強金物	32.9	46.9

図-2 補強金物取付図

図-3 提案補強金物詳細

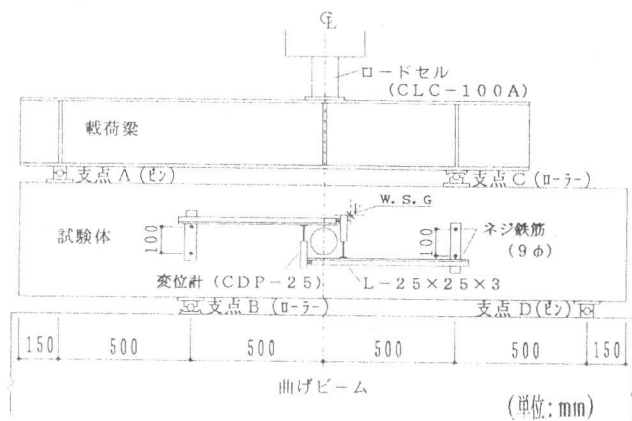


図-4 実験装置

### 3. 実験結果及び検討

#### 3.1 最大剪断耐力

表-2に各試験体の実験結果一覧表を示し、図-5に学会式[4][5]によって求めた計算値と実験値の相関を示した。以下に実験結果を基に最大剪断耐力及び実験値と計算値の比較について検討する。実験結果によれば最大剪断耐力はK試験体の一部を除きいずれの試験体もバラツキは小さくほぼ平均的な値を示した。

無孔梁試験体に対する有孔梁試験体の剪断強度を比較してみると、いずれの有孔梁試験体も無孔梁の剪断耐力を上回っており、補強金物を用いた補強方法の有効性が伺える。また、有孔梁試験体において、在来補強試験体(Cタイプ)に対する提案補強試験体(K, KNタイプ)の剪断耐力を比較検討すると、従来型のK試験体が僅かに小さい値を示しているが、改良型のKN試験体は在来補強試験体よりも大きい値を示しており、その補強方法の有効性が実証された。有孔梁試験体の計算値に対する実験値の割合は、K試験体で2.5割、KN試験体で4割程度の高い強度を示しており、無孔梁試験体のその割合から比較して、ほぼ同等あるいはそれ以上の安全率が示されていることから本提案補強金物を用いて補強された有孔梁は広沢式を用いて評価できると考えられる。

一方、異種の材料を用いて補強したPN試験体はC試験体に比べて開口部の剪断補強筋比が



低下が大きく、特に接線ひび割れ発生から最大耐力までの低下が顕著に現われている。

### 3.3 ひび割れ破壊性状

図-7に最終ひび割れ破壊状況の一例を示した。N試験体(無孔梁)のひび割れ発生経過は、いずれの試験体も曲げひび割れ、曲げ剪断ひび割れ(支点方向後引張り主筋方向に進展)、付着割裂ひび割れ(主筋に沿う)が発生し、この付着割裂ひび割れが進展して最終破壊に達した。

有孔梁試験体のうちC, K, KN試験体は、各ひび割れ発生荷重に多少の差が見られたが、曲げひび割れ(無孔梁とほぼ同位置)、孔対角線ひび割れ、曲げ剪断ひび割れ(支点方向進展後引張り主筋方向に進展)、剪断付着割裂ひび割れ、孔接線ひび割れの順に発生し、最終的には剪断付着割裂と孔接線ひび割れ及び曲げ剪断ひび割れ沿いに発生した斜め引張りひび割れ(曲げ剪断ひび割れに比べてその勾配は僅かに小さい)等による複合した破壊モードで最終破壊に至った。

なお、KN試験体はK試験体に比べて孔周辺部にひび割れの分散が見られた。PN試験体は、C, K, KN試験体とほぼ同様のひび割れ進展状況を示したが、これらの試験体に比べてひび割れの分散が少なく、孔部対角線ひび割れによって破壊した試験体が2体見られた。対角線ひび割れは比較的初期の荷重時に発生するひび割れであるが、このひび割れが最終破断まで進展したのは、ひび割れに直交する補強金物とコンクリートとの付着界面が平滑であることから、その界面に滑りが生じてひび割れの抑制ができず、そこにひび割れが集中したものと考えられる。

### 3.4 筋と補強金物の歪み性状

図-8にKN試験体の筋と補強金物の荷重-歪み関係を示す。初期の荷重段階から補強金物の歪みが筋の歪みに比べて大きい変化を示していることから、補強金物の有効性が伺える。

しかし、KN試験体においてはNo. 2, No. 3は最大耐力時に補強金物の降伏は見られるもののNo. 1試験体は降伏には至らなかった。他のタイプの試験体においても、KN試験体と同様に最大耐力時に補強金物が降伏に達していない試験体も見られた。この原因として、歪み測定位置

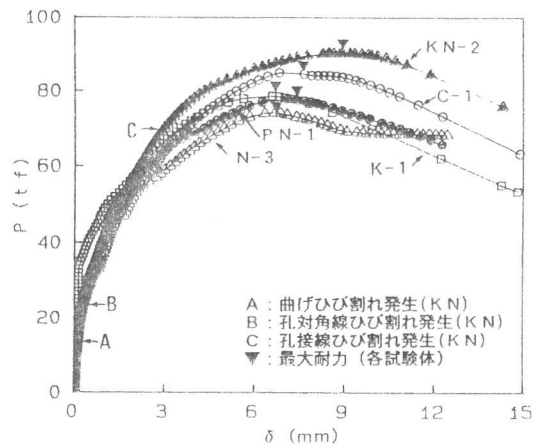


図-6 荷重-変位曲線



図-7 最終破壊状況例

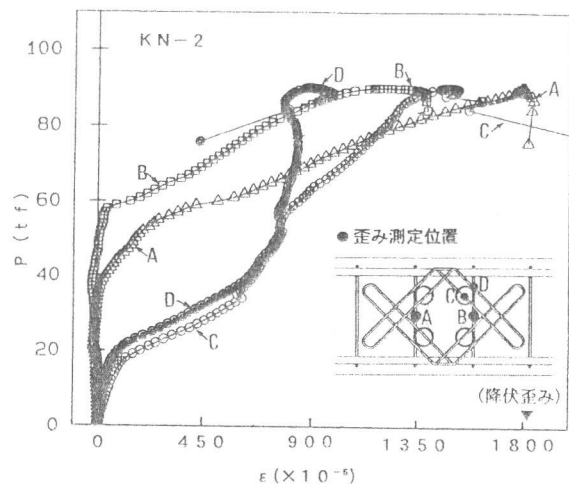


図-8 荷重-歪み曲線(筋、補強金物)

が必ずしも最大応力位置とはならなかったこと、また、最終破壊時に孔部接線ひび割れ破壊に主筋に沿った付着割裂破壊がともなったため、肋筋および補強金物が降伏しなかったことなどが考えられる。

#### 4. 付着試験

##### 4. 1 試験体及び試験方法

試験体は、鉄筋製及び鋼板製補強金物の定着域にあたる部分を直方体コンクリートの中に垂直に埋め込んで製作した。

試験体の種類は、鉄筋製試験体では、コンクリート中の埋め込み長さによってそれぞれKD21, KD14, KD10の3種類とし、鋼板製試験体は、定着部端部に一ヶ所開口したPH1試験体と2箇所開口したPH2試験体を製作し、比較検討のため端部に開口を設けていないP45, PH0の試験体をそれぞれ3体ずつ用意した。試験体の一覧を実験結果と共に表-3に示した。試験体の形状・寸法の一例を図-9に示した。

試験方法は、付着試験方法として最も一般的に用いられている標準引抜試験法のうち、日本コンクリート工学協会が提案された引抜試験法に準じた。試験装置を図-10に示す。

##### 4. 2 試験結果及び検討

試験結果を表-3に示し、図-11に荷重-滑り曲線の一例

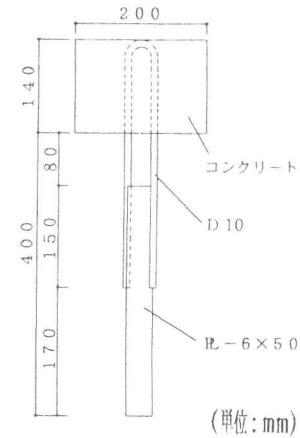


図-9 付着試験体

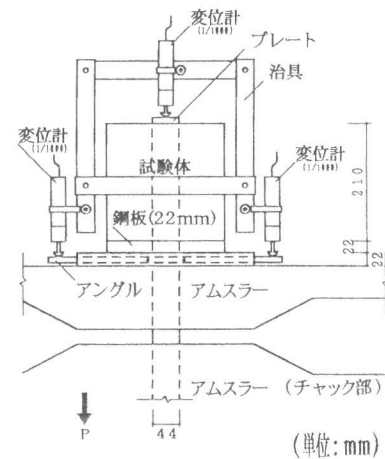


図-10 付着試験装置

表-3 付着試験結果

	供試体名	No.	埋込み長さ L (cm)	埋込み部寸法 B×D×L (cm)	荷重		鉄筋降伏時自由 端滑り量 (mm)	荷重		鉄筋降伏時加力 端滑り量 (mm)	
					$P_a$ (kg)	平均荷重 $P_{a'}$ (kg)		$P_b$ (kg)	平均荷重 $P_{b'}$ (kg)		
鉄筋	KD21	1	21	20×20×21	4833	4800	0.04	3734	3560	0.46	
		2			*		0.02			3005	0.50
		3			4765		0.04			3950	0.30
	KD14	1	14	20×20×14	*	4490	0.02	4385	3900	0.19	
		2			4373		0.04			4100	0.27
		3			4600		0.05			3220	0.58
KD10	1	10	20×20×10	2780	3230	0.14	3253	3320	0.35		
	2			3560		0.08			3653	0.36	
	3			3345		0.09			3067	0.52	

	供試体名	No.	埋込み長さ L (cm)	付着表面積 $\psi L$ (cm <sup>2</sup> )	荷重		付着強度平均		荷重		付着強度平均			
					$P_a$ (kg)	付着強度 $\tau_a$ (kg/cm <sup>2</sup> )	付着強度平均 $\tau_{a'}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$P_b$ (kg)	付着強度 $\tau_b$ (kg/cm <sup>2</sup> )	付着強度平均 $\tau_{b'}$ (kg/cm <sup>2</sup> )				
鋼	P45	1	20	192.8	1751	9.1	10.8	1636	8.5	2075	10.8	10.0		
		2			2291	11.9							2077	10.8
		3			2184	11.3							2077	10.8
板	PH0	1	21	203.7 (201)	2498	12.3 (12.4)	13.5 (13.7)	2470	12.1 (12.3)	3063	12.8 (13.0)	13.3 (13.5)		
		2			2729	13.4 (13.6)		2617	12.8 (13.0)					
		3			3029	14.9 (15.1)		3063	15.0 (15.2)					
	PH1	1			2906	14.3 (15.7)		16.3 (18.0)	3027		14.9 (16.4)		3700	16.8 (18.5)
		2			3303	16.2 (17.9)			3431		16.8 (18.5)			
		3			3754	18.4 (20.3)			3700		18.2 (20.0)			
PH2	1	2821	14.0 (16.7)	14.9 (18.0)	2907	14.3 (17.2)	3179	16.7 (20.1)						
	2	3134	15.4 (18.5)		3405	16.7 (20.1)								
	3	3140	15.4 (18.6)		3179	15.6 (18.8)								

注 i)  $P$ ,  $\tau$ ,  $\tau'$  の添字 a, b はそれぞれ a: 0.05mm (自由端)、b: 0.25mm (加力端) 時の数値を意味する。  
 ii) P45試験体のコンクリート強度は  $F_c=195 \text{ kg/cm}^2$ 、その他は  $F_c=308 \text{ kg/cm}^2$ 。  
 iii) ( ) 内数値は、開口部を除いた表面積及びその付着強度を示す。  
 iv) 荷重項の※印は、0.05mm 迄滑りが生じていないことを示す。

を示した。鉄筋製試験体の定着能を実験結果より検討してみると、自由端側の滑り量で判断した場合、KD10試験体は鉄筋降伏時の滑り量が0.05mmより大きい滑りを生じており、定着効果は小さいと考えられる。しかし、KD14およびKD21試験体はいずれも滑り量は小さく、高い定着能を示している。

一方、鋼板製試験体は、開口を設けたPH1、PH2試験体を一定の滑り量(0.05, 0.25mm)における付着強度で判断すると、P45試験体に比べ自由端で約1.4倍、加力端で1.6倍程度の効果を示した。

また、PH1とPH2との付着性能を比較検討してみると、初期の一定の滑り量の範囲では、ほぼ同じ値を示していることから付着強度は開口の数の違いによる影響は見られないが、PH2の試験体の滑り量が大きい範囲ではPH1に比べて荷重の増加が見られることから終局的な粘りがあるものと考えられる。

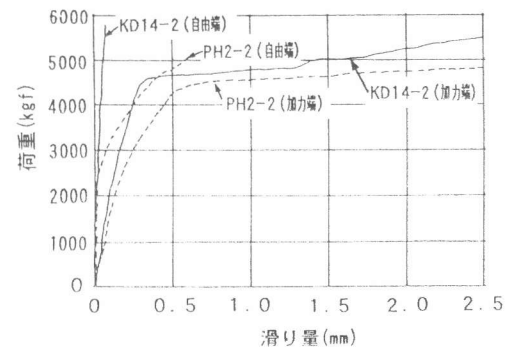


図-11 荷重-滑り曲線

## 5. まとめ

- ①鉄筋製改良型補強金物で補強した有孔梁試験体の剪断耐力は、従来型の提案補強金物で補強した試験体よりも剪断耐力が向上し、改善の効果が見られた。また、在来型補強試験体とほぼ等しい剪断耐力を示した。
- ②鋼板製改良型補強金物で補強した有孔梁試験体は、他の鉄筋製補強試験体に比べて剪断補強筋比が大きいにもかかわらず、剪断耐力は小さい値を示した。今後、形状及び定着部等を改善することにより、補強効果を高めることが出来ると考えられる。
- ③計算式との適合性については、鉄筋製及び鋼板製補強金物の実験値の計算値に対する比はそれぞれ1.4、1.2程度であることから、いずれも学会式を用いて概ね評価できると考えられる。
- ④本実験においては、最終破断位置に孔接線ひび割れでの破断がほとんどの試験体に見られた。この破壊形式が有孔梁の剪断耐力に大きな影響を及ぼすものと考えられることから[3]、このひび割れを制御することによって最大耐力の向上が図れるものと考えられる。
- ⑤付着試験によれば鉄筋製の提案補強金物の定着長は、15cm以上であれば定着効果を得ることが出来ると考えられる。鋼板製補強金物については、今後、形状寸法の改善を行なってより高い定着効果を得るように努めたい。

## [参考文献]

- (1)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, コンクリート学会論文報告集 第15巻 第2号 pp. 299-308, 1993. 6
- (2)前口剛洋他: RC造有孔梁の省力剪断補強方法に関する実験的研究, コンクリート学会論文報告集 第14巻 第2号 pp. 239-244, 1992. 6
- (3)広沢他: 鉄筋コンクリート造有孔梁の耐震性能に関する実験研究 (その6), 建築学会大会講演梗概集 pp. 337-338 1990. 10
- (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
- (5)日本建築学会: 鉄筋コンクリート終局強度設計に関する資料 pp. 40-55, 1990