

論文

[2050] 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

前口 剛洋*¹・出光 隆*²・山崎 竹博*³・渡辺 明*⁴

1. まえがき

従来の鉄筋コンクリート造有孔梁の孔部周辺補強方法は、鉄筋工によって孔部上下の縦筋（小助筋）、横筋及び斜筋等のせん断補強筋をそれぞれ一本ずつ加工切断し、現場で組み立てていく方法が取られていたが（図-1(a)）、このような補強方法では、①熟練鉄筋工が必要、②施工期間に影響、③施工精度、検査管理及び安全性に難がある等の問題点が存在しており、最近の建設業界における現場労働者及び技能工不足も相まって対処できなくなってきた。

そこで今日では、これらの幾つかの問題点を解消するため、孔部周辺のせん断補強筋を集約することによって、補強方法の簡素化及び省力化を図ったいわゆる既製簡易補強材が研究開発され（図-1(b)~(f)）、一般的に使用されるようになってきた。

しかし、これらの既製補強材を用いても、鉄筋工によって既に精度よく組み立てられている鉄筋の結束を一旦緩めて肋筋やスラブ定着筋を移動させ、開口位置にポイド管及び補強金物を設置し組み立てた後、再度肋筋やスラブ定着筋を基の位置にもどして結束仕直さなければならぬことから、二度手間作業を行なうことになる。また、これらの一連の補強作業が逆に配筋全体の施工精度の低下に影響を及ぼす恐れもある。この対策として、鉄筋工と設備配管工との合番作業が実施される場合がある。この方法は設備配管工側にとって大変非合理的な方法と言われているが、鉄筋工と設備配管工との十分な連絡及び打合せがされていないと、工期の遅延原因となる。また、工事期間に余裕のない建物等では、配筋工事終了後に設計変更による開口部の追加や開口位置の変更及び設置箇所の見落とし等も充分考えられることから、その後の現場責任者による迅速な対応も必要となってくる。

2. 研究目的

以上のことをふまえると、これからの鉄筋コンクリート造有孔梁の孔部補強方法は、鉄筋工による配筋工事が終わった後でも、既に組み立てられた鉄筋の結束を緩めることなく容易に補強作業を行うことが出来るような補強方法の改善が望まれる。

本研究は、これらの施工に関する問題点をふまえて、鉄筋コンクリート造有孔梁の孔部周辺補強方法の改善を主目的としたもので、特に施工性の向上に重点をおいた鉄筋製簡易補強金物と床用編鋼板を用いた鋼板製簡易補強金物の2種類の実用的な補強金物を考案し、それらの建設現場における施工性と力学的な補強効果を実験的に検討するものである。鉄筋製簡易補強金物においては、一開口部の梁幅内に数列の補強金物を配置し、そのせん断補強効果について実験的に検討を行った。また、鋼板製簡易補強金物は鉄筋製簡易補強金物に比べ補強金物の製作における品質向上及び経済性等が図れることから、その強度性状を実験的に調べ広沢学会式[4]による計算値と実験値との比較を行ないその適合性を検討した。

*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）

3. 提案補強金物の特徴

鉄筋製補強金物は、有孔梁の最も基本的な補強方法である従来型の縦筋、横筋および斜め筋を集約し、斜め補強筋をせん断力に対して有効に配置することにより、補強の簡易化を図った補強材である。形状は図-2(a)に示すように異形棒鋼をくの字に曲げて加工し、端部を圧接合した。それにかぶり筋として2個のリング型の鉄筋D6を2並列の斜め補強筋に溶接して構成されている。鋼板製補強金物は、鉄筋製補強金物に比べて補強金物の品質および経済性の向上を図ることを目的として考案したもので、素材はコンクリートに対する付着性能を高めるために床用縞鋼板を用いて加工した。図-2(b)にその詳細を示し、鋼板製補強金物に用いた床用縞鋼板の形状を図-3に示した。又、補強金物の組立て配筋作業状況を写真-1に示した。

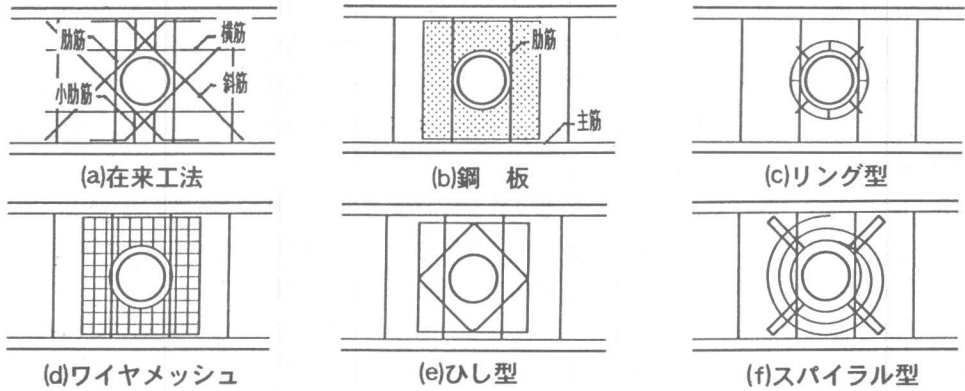


図-1 各種補強方法

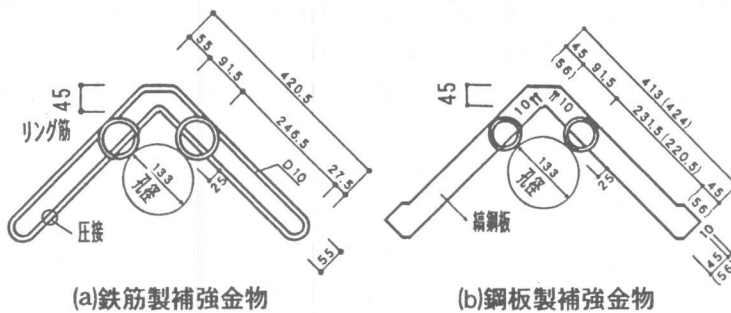


図-2 提案補強金物詳細図

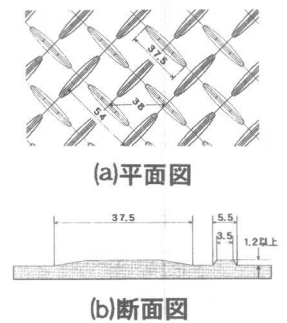
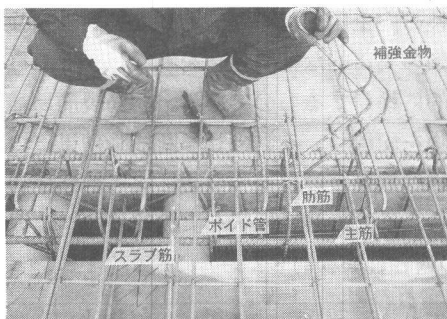
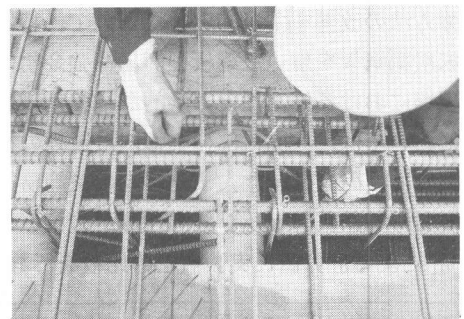


図-3 鋼板形状



①挿入



②組み立て

写真-1 補強金物組み立て配筋作業

4. 実験計画

4-1. 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-4に示した。試験体は梁断面 $b \times D = 25 \times 40$ cm ($d = 35$ cm), 全長230 cm, 剪断スパンは、スパン中央部80 cmにとり、剪断スパン比 $a/d = 1.14$, 開口位置はせん断スパン及び梁せいの中央に設け、孔径 $He = 133 \phi$ ($He/D = 1/3$)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、各試験体との補強効果の比較基準となる鉄筋製補強金物で孔部を補強した2Kタイプ試験体(2列配筋)、一開口部の梁幅内に多列補強配筋が可能であることから、その補強効果を検討するために用いた鉄筋製補強金物3Kタイプ試験体(3列配筋)、そして床用編鋼板を用いて補強金物の品質及び経済性の向上を図ることを目的として考案した鋼板製補強金物KP32試験体(厚:3.2mm, 幅:45mm, 断面積:1.44 cm^2 , 2-D10に相当)とKP45試験体(厚:4.5mm, 幅:56mm, 断面積:2.52 cm^2 , 2-D13に相当)の4種類で各タイプごとに3体、

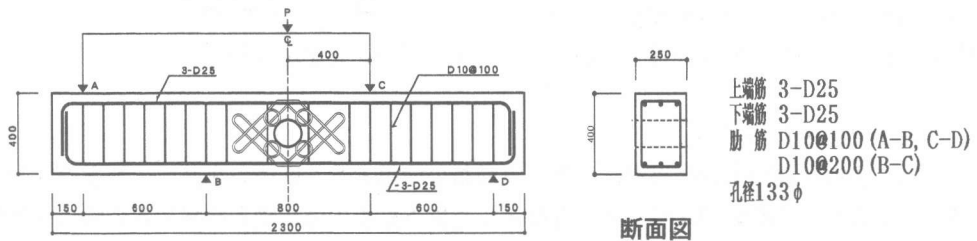


図-4 有孔梁試験体

表-1 材料試験結果

a) コンクリート ($\phi 10 \times 20$ cm, 外気養生)					b) 鉄筋 (D10: S D295, D25: S D345)				c) 床用編鋼板				
材令 (日)	スランブ (cm)	圧縮強度 σ_c (kgf/cm 2)	$E_{2.2}$ (kgf/cm 2)	弾性係数 $E_{2.2}$ (kgf/cm 2)	呼び名	使用個所	降伏点強度 σ_v (kgf/mm 2)	引張強度 σ_t (kgf/mm 2)	試験片	厚さ (mm)	使用個所	降伏点強度 σ_v (kgf/mm 2)	引張強度 σ_t (kgf/mm 2)
28	18	192	195	2.0×10^5	D10	肋筋、補強筋	36.3	52.3	CP32	3.2	補強筋	30.0	41.0
31		198		2.1×10^5	D25	主筋	38.2	56.3	CP45	4.5	補強筋	31.4	42.8

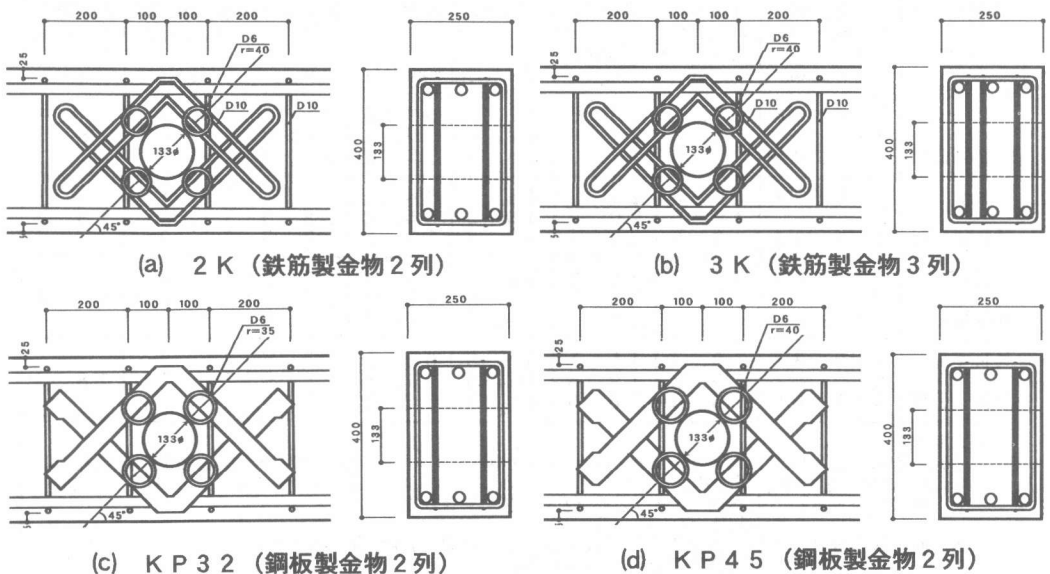


図-5 補強金物取付図

合計12体である。試験体の一覧を実験結果と共に表-2に示し、各試験体の補強金物取付図を図-5に示した。又、本実験に使用した材料試験結果の一覧を表-1に示した。

4-2. 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、一方向単調載荷とした。図-6に試験装置を示す。加力は200トン万能試験機を用いて載荷し、測定方法は荷重はロードセルで、変位は2個の電気式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ストレインゲージを貼付し測定した。

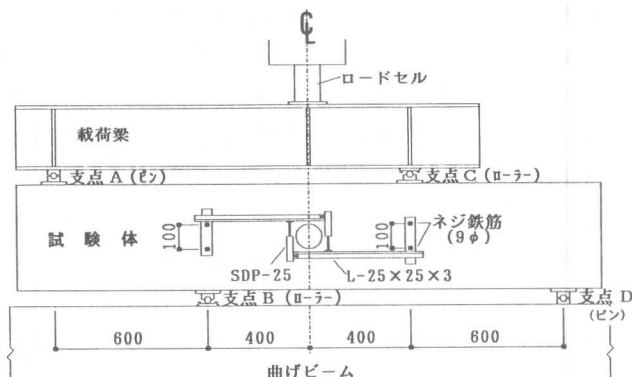


図-6 実験装置

5. 実験結果及び検討

表-2に各試験体の実験結果を示した。実験結果の最大せん断耐力を基に広沢学会式 [2, 4] で求めた計算値と実験値の比較を表-3に示し、以下にその適合性と提案補強金物の有効性についての検討を行なった。

5-1. 最大せん断耐力

実験結果によれば、最大せん断耐力はいずれのタイプの試験体もその値のバラツキは小さく3試験体ともほぼ平均的な値を示した。各タイプ試験体ごとに補強金物の有効性を最大せん断

表-2 実験結果

試験体記号 試験体名	No.	開口部 補強筋比 $\rho_s P_{wo}$ (%) $\rho_r P_{wo}$ (%)	曲げひび 割れ発生 荷重 P_{bc} (tf)	斜めひび割れ荷重		最大荷重 P_{max} (tf)	最大せん 断耐力 eQ_s (t)	最大耐力時 曲げモーメント 実験値 eMy (tm)	曲げ降伏 耐力計算 値 cMy (tm)
				対角線 P_{dc} (tf)	接線 P_{lc} (tf)				
2K 鉄筋製2列	1	0.38	9.4	21.5	42.6	59.9	25.7	10.3	18.3
	2		7.0	21.3	40.0	60.7	26.0	10.4	
	3		1.08	9.6	17.0	44.9	58.0	24.9	
3K 鉄筋製3列	1	0.38	10.3	21.2	48.3	64.5	27.6	11.1	18.3
	2		12.8	20.2	43.5	65.4	28.0	11.2	
	3		1.61	12.0	23.7	39.3	64.2	27.5	
KP32 鋼板製2列	1	0.38	11.7	18.8	50.6	55.3	23.7	9.5	18.3
	2		10.9	16.0	46.5	60.3	25.8	10.3	
	3		1.09	7.4	18.3	40.7	55.8	23.9	
KP45 鋼板製2列	1	0.38	9.4	18.1	39.9	60.3	25.8	10.3	18.3
	2		10.6	19.5	47.0	61.8	26.5	10.6	
	3		1.90	8.5	16.6	40.4	62.3	26.7	

<共通事項>

- 試験体断面: $b \times D = 25 \times 40$ cm ($d = 35$ cm)
- 開口径: $H_e = 133 \phi$ ($D/3.0$)
- 主筋 (SD35): 上端筋 3-D25 ($P_t = 1.738\%$)
下端筋 3-D25
- 肋筋 (SD30): D10@100 (A-B, C-D間, $P_w = 0.572\%$)
D10@200 (B-C間)
- せん断スパン比: $a/d = 1.143$
- 補強筋有効範囲: $C = 15$ cm
- コンクリート圧縮強度 (外気養生)
 $F_c = 19.5 \text{ kg/cm}^2$ (材令: 29~35日)
- $\rho_s P_{wo}$ (%): 筋筋補強筋比 (C区間)
- $\rho_r P_{wo}$ (%): 補強金物補強筋比 (C区間)

耐力から判断すると、3Kタイプ試験体の最大せん断耐力は、3試験体共そのバラツキは小さく、計算値に対する実験値の比も1.14倍と安全側であることから、鉄筋製補強金物を用いて梁幅方向に3列挿入した補強配筋法も2列配筋同様に強度的にも十分有効であると評価できる。また、床用編鋼板を用いて加工した鋼板製補強金物KPタイプ試験体(KP32, KP45)について検討してみると、鉄筋製補強金物2Kタイプ試験体と同じ量のせん断補強筋比を有するKP32タイプ試験体は、2Kタイプと比較してせん断耐力はわずかに小さい値を示している。この原因として、補強金物に使用した鉄筋と鋼板の強度及び付着特性の違いによる影響等が考えられるが、KP32試験体においては、その特性値のうち補強金物に用いた素材の降伏点強度値(鉄筋 $\sigma_y=36.3\text{kg/mm}^2$, 鋼板 $\sigma_y=30.0\text{kg/mm}^2$)の差による影響が大きいと考えられる。理由として降伏点強度を考慮して求めた計算値に対する実験値の比は、2Kタイプ試験体と同じ値の1.18倍を示していることからそのことが伺える。KP45タイプ試験体は、他の試験体に比べ計算値に対する安全率はわずかに小さい値を示しているもののその比は1.09倍と計算式に適合しており、KP32タイプ試験体同様にせん断補強に対しておおむね有効であると評価できる。

5-2. 変形性状

図-7に支点間相対変位(B, C点)による荷重-変位曲線の一例を示す。

図によれば、いずれの試験体も総じて曲げひび割れ発生までの初期剛性は高く、その差はさほど見られないが、せん断ひび割れである対角線ひび割れ発生から接線ひび割れにかけて剛性の変化が顕著に現われ、その後の接線ひび割れから破壊までの変化は大きく現われている。又、2K試験体とKP32試験体を比較検討して見ると、曲げひび割れ発生以降の剛性は、いずれのひび割れ発生間においてもKP32試験体の剛性が小さい値をしめしていることから、この原因は、使用した鋼材の材料特性の違いによる影響であると考えられる。

5-3. ひずみ性状

図-8に筋筋及び補強金物の荷重-歪み曲線の一例を示した。

筋筋と補強金物の歪みは、初曲げひび割れ発生付近まではいずれも小さく変化の違いはさほど見られないが、その後は補強金物の歪みに変化があらわれ、徐々に増加していることがわかる。それに比べ、筋筋の歪みは初期荷重段階ではほとんど変化は見られず、対角線ひび割れが

表-3 計算値と実験値の比較

試験体名	剪断耐力 (tf)			曲げ耐力 計算値* (tf)
	実験値	計算値	実/計	
2K	25.5	21.6	1.18	45.8
3K	27.7	24.2	1.14	45.8
KP32	24.5	20.7	1.18	45.8
KP45	26.4	24.3	1.09	45.8

* $0.9 \cdot \Sigma a_t \cdot \sigma_y \cdot d / L$
(計算式)

$$Q_s = \left[\frac{0.092 \cdot k_u \cdot k_p \cdot (180 + F_c)}{M / (Q \cdot d) + 0.12} (1 - 1.61 H_c / D) + 2.7 \sqrt{D w_o \cdot w_o y} \right] \cdot b \cdot j$$

[注]

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
 Fc: コンクリート強度 (kg/cm²)
 M/(Q·d): せん断スパン比
 Hc: 開孔径 (cm)
 D: 梁せい (cm)

Pwo: 孔周囲の有効補強筋比 (C区間内)
 $Pwo = \Sigma a_s (\sin \theta + \cos \theta) / b \cdot C$
 C: 孔周囲補強筋の有効な範囲 (=D/2-dc)
 w_{oy}: 補強筋降伏点強度 (kg/cm²)
 w_o: 梁幅 (cm)
 j: 応力中心間距離 (cm)

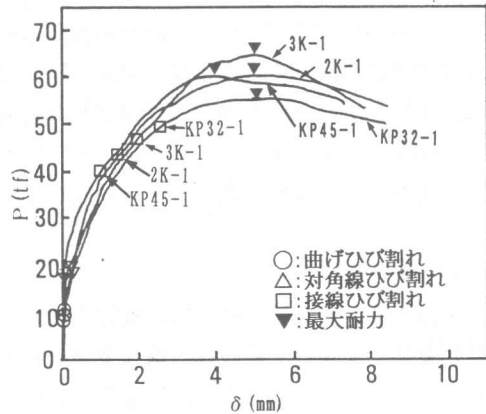


図-7 荷重-変位曲線

発生してしばらくして徐々に変化が見られ、その後は接線ひび割れが発生した時点で急激に歪み増加が見られ、最大荷重時に達しても降伏するまでに至っていない。これは、最大荷重時の破壊位置が、孔部の接線ひび割れ部で最終破断していることが原因であると考えられる。

5-4. ひび割れ及び破壊性状

図-9に最終破壊状況例を示した。本実験の試験体に生じる主なひび割れ形状は、材軸の直角方向に生じる曲げひび割れ、材軸に対して45度方向の孔部に生じる対角線ひび割れ及び孔部の接線上に生じる接線ひび割れの3種類に大別できる。各タイプ試験体において最終破壊状況に多少の違いは見られるが、ひび割れ発生過程は、まず最大曲げモーメントが生ずる支点付近に曲げひび割れが発生する。続いて孔部中央から45度方向に対角線ひび割れが発生し、加力が最大荷重の70~85%付近に達すると孔部の接線上に斜めせん断ひび割れが発生して、そのひび割れが45度方向から支点方向に卓越して最終破壊に至らず。Kタイプ試験体では、2Kタイプに比べ3Kタイプの試験体が曲げひび割れの発生荷重が僅かに大きい、対角線ひび割れ発生荷重はほぼ同じ値を示した。又、Kタイプに比べてKPタイプ試験体の方が対角線ひび割れの発生が僅かに早い時期に生じており、ひび割れの分散も少ない。

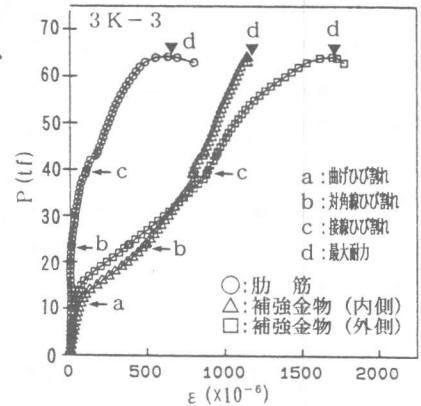


図-8 荷重-ひずみ曲線

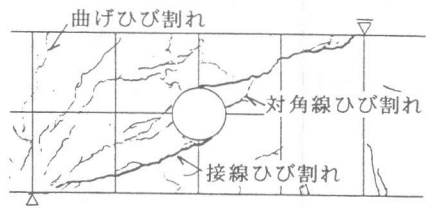


図-9 最終破壊状況(3K-3)

6. まとめ

本報告は、有孔梁の孔部周辺補強方法の改善を図るため、特異な形状を有する2種類の簡易補強金物を提案し、その提案補強金物の考案に至った背景、補強金物の形状と構成及び補強作業性に関する特色等を述べた。また、その力学的な補強効果をせん断実験を行ない検討した。それによると次のことがいえる。

- ①鉄筋製補強金物を用いて梁幅方向に3列配筋した補強配筋法も2列配筋同様に設計式[4]を用いて評価できる。
- ②鋼板製補強金物で補強したKP32試験体の計算値に対する実験値の比は、鉄筋製補強金物の試験体(2K試験体)と同じ値を示したことから、設計式を用いて評価できる。
- ③鋼板製補強金物KP45試験体は、計算値に対する実験値の比が他の試験体に比べて小さい値を示した。本実験ではその原因は明らかではないが、原因の1つとして鋼板特有の定着部の付着力不足による影響とも考えられることから、鋼板製補強金物の定着部の付着性状の解明については今後の課題としたい。

[参考文献]

- 1) 前口剛洋・出光 隆・山崎竹博・渡辺 明：RC造有孔梁の省力剪断補強方法に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集 第14巻 第2号 pp.239-244, 1992.6
- 2) 広沢雅也・清水 泰・山田二男：鉄筋コンクリート造有孔梁のせん断強度と靱性(その1,2) 建築技術, NO.331,332, pp.93-101, pp.139-153, 1979.3,4
- 3) 有孔梁委員会：鉄筋コンクリート造有孔梁に関する研究(その1,3,10)，建築学会論文報告集 63号,66号,69号 pp.597-600, pp.449-452, pp.541-544, 1959.10,1960.10,1961.10
- 4) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, pp.273-276, 1990