

論文 スパイラル型補強材を用いた RC 造有孔梁の補強効果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}

要旨：本研究は，鉄筋コンクリート造有孔梁の貫通孔補強において，補強金物の軽量化を図る目的で高強度鉄筋($\sigma_y=800\text{N/mm}^2$ 級)で加工したスパイラル状の補強金物を製作し，その効果を比較的低強度の 2 種類のコンクリート強度($\text{FC21N/mm}^2, \text{FC30N/mm}^2$)の有孔梁試験体でせん断実験を行って検討した。実験の結果，コンクリート強度 FC30N/mm^2 の有孔梁試験体においては，強度性状及び変形性状に補強効果が見られ，高強度鉄筋を用いたスパイラル型補強金物は開孔補強に有効であることが確認できたが，コンクリート強度 FC21N/mm^2 の有孔梁試験体では，補強金物の十分な補強効果が得られなかった。

キーワード：高強度鉄筋コンクリート造，有孔梁，せん断強度，補強金物

1. はじめに

今日の鉄筋コンクリート造有孔梁の貫通孔補強方法は，施工性の向上を主目的として研究開発された既製の補強金物を用いて補強する方法が一般的である。これらの既製補強金物は鉄筋を円形，矩形もしくは多角形に折り曲げ加工して構成された閉鎖型の補強金物と，孔の上下でくの字型の金物を組合せる分離型の補強金物の 2 種類に分類でき，貫通孔を補強する際の標準的な取付け金物数は，1 貫通孔につき閉鎖型補強金物は 2～3 枚，分離型補強金物は 4～6 枚の補強金物が用いられる。

筆者らは，補強金物の製作精度と貫通孔の補強作業の省力化を図ることに着目し，1 貫通孔を 1 個の補強金物で補強することが可能な施工性を重視したスパイラル状の補強金物を提案し，既往の研究でその補強効果を普通鉄筋コンクリート造有孔梁のせん断実験（コンクリート強度：FC21, FC30，肋筋・補強金物：SD295）を行って検討し，有効性を立証した¹⁾。

本研究では，補強金物の軽量化を図り，補強作業効率を向上する目的で，普通鉄筋コンクリート造有孔梁（コンクリート強度：FC21, FC30，

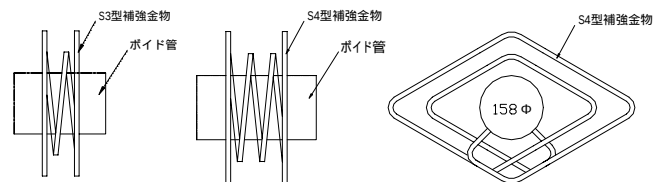


図-1 スパイラル型補強金物

肋筋：SD295）の開孔部を細径の高強度鉄筋（D6, D8）で加工した 2 種類のスパイラル型補強金物（S3 型, S4 型）で補強し，その補強効果を有孔梁せん断実験を行って検討した。本報告では主に強度性状，変形性状，ひび割れ及び破壊性状等について述べる。

2. 実験概要

2.1 補強金物

本研究で提案したスパイラル型補強金物の形状を図-1 に示す。スパイラル型補強金物は，1 本の鉄筋を梁材軸 30 度に折り曲げて，せん断抵抗斜め筋となる菱形を数個形成し，その菱形数個を梁幅方向にスパイラル状に連続して構成した一筆書きの開孔補強材である。その特徴は，孔部 1 箇所を 1 個の補強金物で補強する方法・収納，運搬，取付け時は縮めてコンパクトな

*1 西日本工業大学 工学部建築学科助教授 工博（正会員）

*2 九州工業大学 工学部建設社会工学科名誉教授 工博（正会員）

*3 九州工業大学 工学部建設社会工学科教授 工博（正会員）

*4 九州工業大学 工学部建設社会工学科名誉教授 工博（正会員）

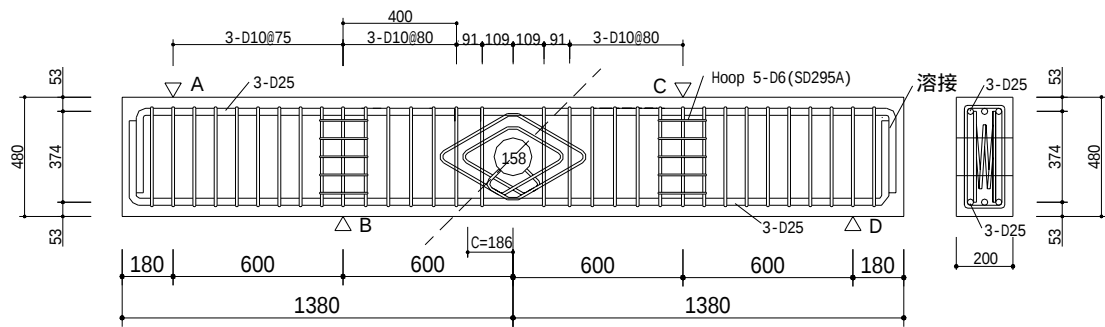


図-2 試験体の形状・寸法

表-1 試験体一覧

種別	試験体名	開孔補強筋	主筋	コンクリート	断面寸法	孔径(比)
	№	記号	補強金物 肋筋	配筋	(N/mm ²) b × D (mm)	He(mm)
シリーズ	1	30-O1	無し	1組 3-D25 (SD390)	Fc30 250 × 480	158 (0.33)
	2	30-HS31	D6-S3型			
	3	30-HS41	D6-S4型			
	4	30-HS31a	D6-S3型		200 × 480	
シリーズ	5	21-O2	無し	2組 3-D25 (SD390)	Fc21 250 × 480	158 (0.33)
	6	21-HC32	D8-在来			
	7	21-HS32	D8-S3型			
	8	21-HS42	D8-S4型			
	9	21-HS31	D8-S3型			

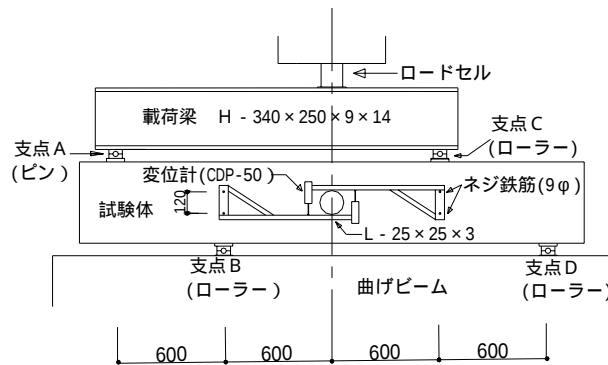


図-4 実験装置

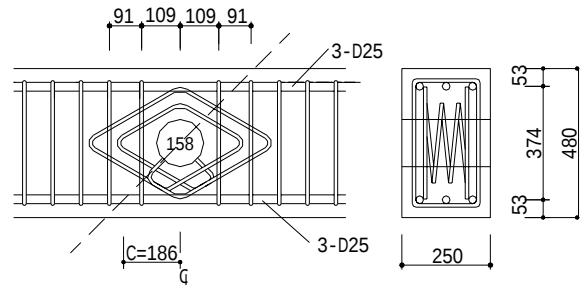


図-3(a) 配筋詳細図(30-HS41)

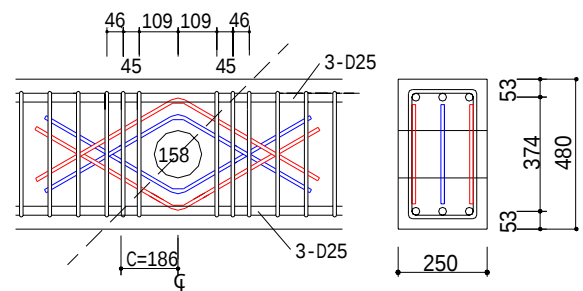


図-3(b) 配筋詳細図(21-HC32)

表-2 素材試験結果

(a)コンクリート(圧縮強度は3体の平均値)

呼び強度 (N/mm ²)	スランブ (mm)	材令 (日)	圧縮強度 (N/mm ²)	平均値 (N/mm ²)
30	180	28	30.5	30.5
		31	30.6	
21	180	30	21.9	21.9

(b)鉄筋(D6,D8:KSS785,D10:SD295A,D25:SD390)

呼び名	使用箇所	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 × 10 ⁵ (N/mm ²)
D6	金物	1013	1225	2.07
D8	金物	966	1155	2.11
D10	肋筋	323	487	2.01
D25	主筋	438	663	1.86

形状となる。など、主に製作精度、施工性を重視した補強材である。本実験で用いた補強金物の形式は、菱形の数が3個のS3型と4個のS4型の2タイプを用いた。

2.2 試験体

試験体の一覧を表-1、試験体の形状・寸法および孔部周辺の配筋詳細を図-2, 3に示す。試験体は、コンクリートの呼び強度Fc30と補強金物鉄筋径D6($\sigma_y=800\text{N/mm}^2$ 級)の組合せをシリーズ、呼び強度Fc21と補強金物鉄筋径D8($\sigma_y=800\text{N/mm}^2$ 級)の組合せをシリーズに分類した。試験体の主な共通因子を以下に述べる。

試験体は、シリーズ、共に梁幅 $b=250\text{mm}$ (№4のみ $b=200\text{mm}$)、梁せい $D=480\text{mm}$ 、試験体全

長 $L=2760\text{mm}$ 、せん断スパン比 $a/d=1.41$ 、貫通孔位置は、せん断スパンおよび梁せい中央に設置し、開孔直径 $He=158\text{mm}$ ($He/D=1/3$) として、曲げ降伏に先行してせん断破壊するように設計した。

シリーズの試験体の種類は、無補強有孔梁試験体(01), 01 試験体を S3 型補強金物で補強した有孔梁試験体(HS31), 01 試験体を S4 型補強金物で補強した有孔梁試験体(HS41), HS31 試験体の梁幅を 200mm に狭めた有孔梁試験体(HS31a)の合計 4 体で、いずれの試験体も C 区間内の孔際肋筋は 1 組である。シリーズの試験体の種類は、C 区間内の孔際肋筋 2 組の無補強有孔梁試験体(02), 02 試験体を十分な定着長を有する在来型で補強した在来型補強試験体(HC32), 02 試験体を S3 型補強金物で補強した有孔梁試験体(HS32), 02 試験体を S4 型補強金物で補強した有孔梁試験体(HS42), 孔際肋筋を 1 組とし S3 型補強金物で補強した有孔梁試験体(HS31)の合計 5 体で、総数 9 体を用いた。本実験に用いた使用材料の試験結果を表-2 に示す。

2.3 試験方法

試験は曲げの影響を少なくするために逆対称曲げモーメント方式とし、加力は一方向単調載荷とした。実験装置を図-4 に示す。測定方法は、荷重をロードセルで変位は 2 個の高感度変位計を用いて、せん断スパンにおける支点間相対変位を測定した。歪は、最大モーメントが生じる支点位置の主筋、孔際の肋筋および補強金物の斜筋に歪ゲージを貼付して測定した。

3. 実験結果及び考察

3.1 強度性状

実験結果を表-3 に示す。図-5 は各試験体の実験値と日本建築学会式²⁾で求めた計算値との関係を図示したものである。これらの図表をもとに各試験体の強度性状について考察する。

表-3 実験結果

シリーズ	NO.	試験体記号	金物種類	開孔部補強筋比			計算値	実験値	実験値
				肋筋 sPw	補強金物 kPw	補強筋比 Σ Pw	せん断強度 cQ (kN)	せん断強度 eQ (kN)	計算値 eQ / cQ
	1	30-01	無し	0.0031	-	0.0031	165	243	1.47
	2	30-HS31	S3型	0.0031	0.0028	0.0059	239	321	1.34
	3	30-HS41	S4型	0.0031	0.0038	0.0069	257	354	1.38
	4	30-HS31a	S3型	0.0038	0.0035	0.0073	205	280	1.37
	5	21-02	無し	0.0061	-	0.0061	180	237	1.32
	6	21-HC32	在来型	0.0061	0.0044	0.0105	266	310	1.17
	7	21-HS32	S3型	0.0061	0.0044	0.0105	266	304	1.14
	8	21-HS42	S4型	0.0061	0.0058	0.0119	285	309	1.08
	9	21-HS31	S3型	0.0031	0.0044	0.0075	249	288	1.16

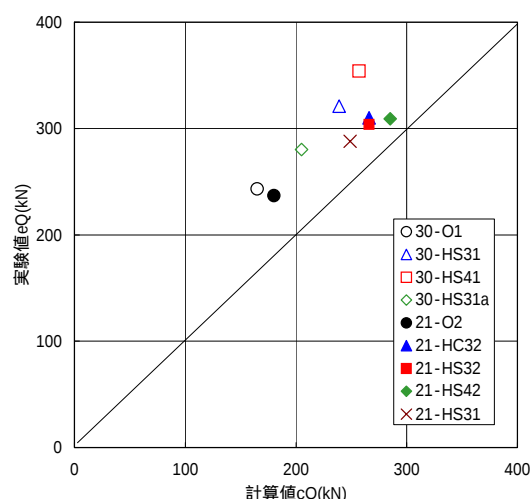


図-5 実験値と計算値の関係

「有孔梁計算式」

$$cQ_s = \left\{ \frac{0.092KuKp(18 + Fc)}{M/Qd + 0.12} \left(1 - 1.61 \frac{H}{D} \right) + 0.85\sqrt{Ps \cdot s\sigma_y} \right\} \cdot bj$$

< 記号 >

cQs: せん断終局強度 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 $Kp=2.36(Pt)^{0.23}$
Fc: コンクリート圧縮強度(N/mm²) M/Qd: せん断スパン比
H: 開口径(mm) D: 梁せい(mm) b: 梁幅(mm)
d: 有効せい(mm) j: 応力中心間距離(mm)
Ps: 孔周囲有効補強筋比(C区間) sσy: 補強筋降伏点強度(N/mm²)
 $Ps = \sum as \cdot (\sin \theta + \cos \theta) / (b \cdot C)$ θ: 孔周囲補強筋が材軸となす角度
as: 孔の片側 C の範囲内にある 1 組の補強筋の断面積(mm²)

シリーズ 試験体において，補強金物の補強効果が無補強試験体 30-01 と比較すると 30-01 試験体を S3 型補強金物で補強した 30-HS31 試験体は，せん断強度で 78 kN の増加が見られ，S4 型補強金物で補強した 30-HS41 試験体は 111 kN の増加が見られた。また，計算値に対する実験値の割合は，30-HS31 試験体が 1.34，30-HS41 試験体は 1.38 である。梁幅を小さくして壁構造等における有孔梁補強を想定した 30-HS31a 試験体も計算値に対する実験値の割合は 1.37 と高い値を示した。故に，FC30 程度の普通鉄筋コンクリート造有孔梁の補強方法に，高強度鉄筋のスパイラル型補強金物を用いて補強する方法は有効であると考えられる。また，計算値に対する実験値の割合は 1.34～1.38(平均 1.36)であり，高強度鉄筋スパイラル型補強金物で補強した有孔梁の強度設計は，日本建築学会式で概ね評価できると考えられる。

一方，コンクリート強度 21N/mm^2 級のシリーズ 試験体は，補強金物の補強効果が無補強試験体 21-02 と比較すると，在来型補強方法で補強した 21-HC32 試験体は，せん断強度で 73kN，S3 型補強金物で補強した 21-HS32 試験体は 67 kN，S4 型補強金物で補強した 21-HS42 試験体は 72 kN の増加が見られ，それぞれの補強方法にその効果が伺える。しかし，計算値に対する実験値の割合は，定着長を十分考慮した（孔接線位置から鉄筋径の 40 倍）在来型補強方法の 21-HC32 試験体は 1.17，スパイラル型補強金物で補強した有孔梁試験体は 1.08～1.16 の範囲（平均値は 1.13）であり，コンクリート強度 30N/mm^2 級のシリーズ 試験体に比べて小さい値を示した。この値は普通鉄筋コンクリート造有孔梁の設計において，低減係数算定の基準値となる 1.32 に比べてもその割合は在来型補強試験体で 88%，スパイラル型補強方法で 85%程度である。このことから，本実験において計算値に対する実験値の割合は安全側の評価は得られたが，呼び強度 21N/mm^2 級の普通鉄筋コンクリート造有孔梁の開孔補強においては，開孔補強筋に高強度鉄筋（ σ

$y=800\text{N/mm}^2$ 級）で補強する方法は，コンクリート強度と鉄筋強度とのバランス，開孔部補強筋の付着性を高めた補強方法の改善等を含め今後検討していく必要があると考えられる。

3.2 変形性状

図-6 にシリーズ 試験体，図-7 にシリーズ 試験体の荷重—変形曲線を示す。図 5 によれば，いずれの試験体も初期荷重から曲げひび割れ，対角線ひび割れ発生時にかけて変形は小さく，補強方法の違いによる影響は顕著に見られない。無補強試験体 30-01 の変形性状は，曲げひび割れ直後の対角線ひび割れ発生直後から接線ひび割れ発生にかけて変形が徐々に大きくなり，接線ひび割れ発生直後から最大荷重にかけて急激に変形が増大し耐力低下した。30-01 試験体を補強金物で補強した 30 - HS31，30 - HS41 試験体は，類似した変形曲線を示し，いずれの試験体も対角線ひび割れが発生した後に緩やかに変形が増大が見られるが，接線ひび割れ発生後も急激な

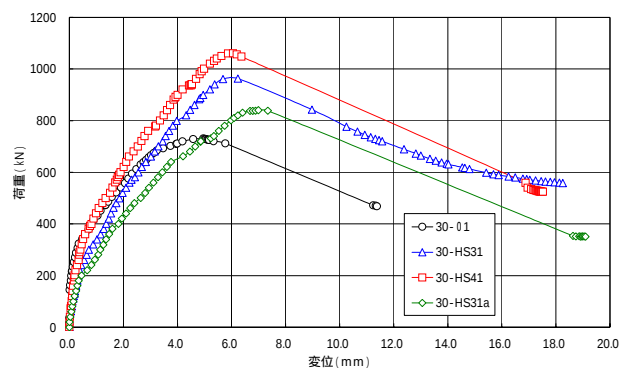


図-6 荷重 - 変形関係 (シリーズ)

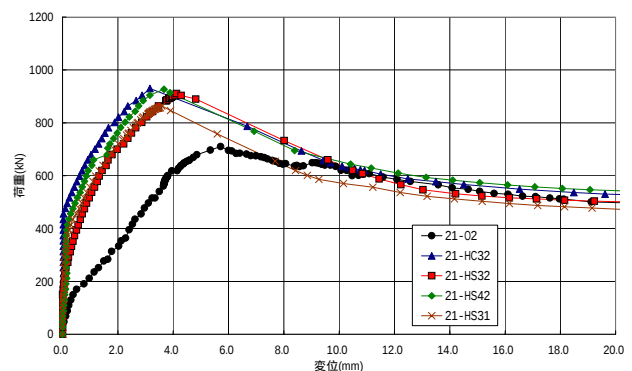


図-7 荷重 - 変形関係 (シリーズ)

変位の増大は見られず，最大荷重時付近まで緩やかな変形曲線を示した。梁幅の小さい 30 - HS31a 試験体は 30 - HS31, 30 - HS41 試験体に比べて，曲げ及び対角線ひび割れが早く発生し，その後の剛性低下も若干大きい，接線ひび割れ発生後の急激な剛性低下は見られない。一方，図-7 に示したシリーズの無補強試験体 21-02 の変形性状は，他の試験体に比べて曲げ及び対角線ひび割れ発生直後から接線ひび割れ発生荷重まで変形の増大が大きく，シリーズの 30 - 01 試験体と同様に接線ひび割れ発生直後に最大荷重に達して変形が増大し耐力低下した。開孔部補強筋で補強した有孔梁試験体は，ひび割れ発生荷重に若干の違いが見られるが，その後の最大荷重までの変形曲線は補強方法の違いによる影響は見られず，ほぼ類似した曲線を示した。

3.3 ひび割れおよび破壊性状

ひび割れ発生過程は，いずれの試験体も最大曲げモーメントを受ける支点付近に曲げひび割れが発生し，その直後に孔部中央から梁材軸 45 度方向に対角線ひび割れが発生する。続いて，無補強有孔梁試験体(01,02)では最大荷重の 90 ～ 95% 付近，補強筋で補強した有孔梁試験体は補強方法の違いに若干差があるが，シリーズ試験体では最大荷重の 70 ～ 85%，シリーズ試験体では 65 ～ 70% 付近で孔部接線ひび割れが発生し，このひび割れが進展して最終破断する。最終破壊モードは，いずれの試験体もこの接線ひび割れ位置でのせん断破壊である。図-8 にシリーズの 30-01, 30-HS41 試験体，図-9 にシリーズ(21-HS3)のひび割れ幅(対角線ひび割れ，接線ひび割れ)の荷重による増加状況例を示す。図より対角線ひび割れ及び接線ひび割れの進展状況を比較検討してみると，30-HS41 試験体は 30-01 試験体に比べて，同荷重におけるひび割れ幅が小さくひび割れの進展状況も非常に緩やかであることがわかる。他の補強金物で補強した 30-HS31, 30-HS31a 試験体も同様の傾向を示しており，この対角線ひび

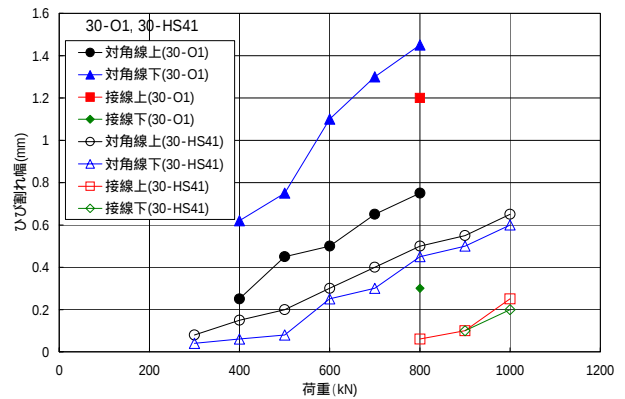


図-8 ひび割れ幅増加状況 (30-01, 30-HS41)

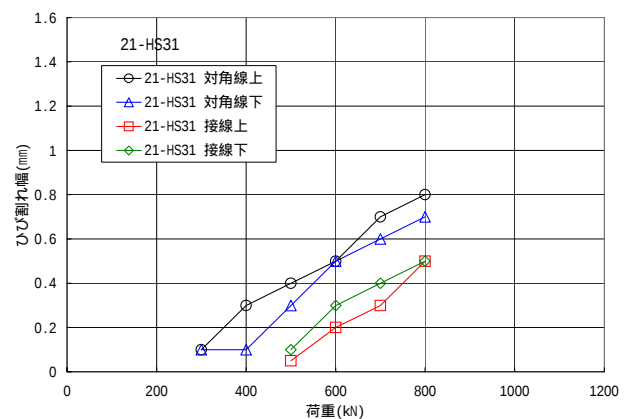


図-9 ひび割れ幅増加状況 (21-HS3)

割れを材軸 45 度に配した斜筋が有効に作用してひび割れの進展を抑制したものと考えられる。また，図-10, 11，写真-1, 2 の最終破壊状況でも明らかなように，スパイラル型補強金物で補強した有孔梁試験体は，無補強試験体に比べて孔周辺に細い斜めせん断ひび割れが数多く発生しており，かつ分散している。

一方のシリーズの試験体は，曲げ及び対角線ひび割れ発生荷重はシリーズの試験体とそれほど差は見られないが，せん断補強筋比が大きいにもかかわらず，対角線ひび割れとその後の接線ひび割れ幅の進展状況がシリーズの試験体に比べて若干大きく見られた。これは，使用したコンクリート強度が普通コンクリートの中でも最も小さい強度を使用したため，孔周辺の補強筋が十分な付着が得られず，鉄筋の斜め筋効果によるひび割れ抑制が出来なかったことによるものと考えられる。このことは，いずれ

の補強金物も降伏歪まで達していなかったことから判断できる。

4. まとめ

実験結果より，コンクリート強度 $FC30N/mm^2$ の有孔梁試験体においては，強度性状，変形性状において補強効果が見られ，高強度鉄筋を用いたスパイラル型補強金物は開孔補強に有効であることが確認できた。しかし，コンクリート

強度 $FC21N/mm^2$ の有孔梁試験体では，補強金物の十分な補強効果が得られなかった。高強度鉄筋のせん断補強筋としての効果を発揮させるためには，コンクリート強度に依存する傾向が考えられることから，この種の補強方法における鉄筋強度とコンクリート強度とのバランス等を解明するため，今後さらに多くの実験を加えて検討していきたい。

参考文献

- 1)前口他：R C 造有孔梁の補強材開発に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，第23巻，第3号，pp.271-276,2001.7
- 2)日本建築学会：鉄筋コンクリート計算規準・同解説，1999，pp.271-274
- 3)前口剛洋：螺旋型補強材を用いたR C 造有孔梁の補強効果に関する実験的研究，日本建築学会四国支部研究報告集, pp.23-24, 2003.5
- 4)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（続），ビルディングレター，pp.29-30,1993.10
- 5)田中博昭，杉本 裕，川相真美，佐藤立美：交差楕円形状の開孔補強金物で補強したR C 有孔梁のせん断補強効果に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.341-342，2001.9

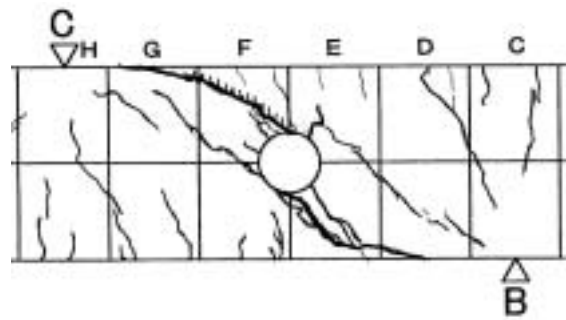


図-10 最終破壊状況（シリーズ：30-01）

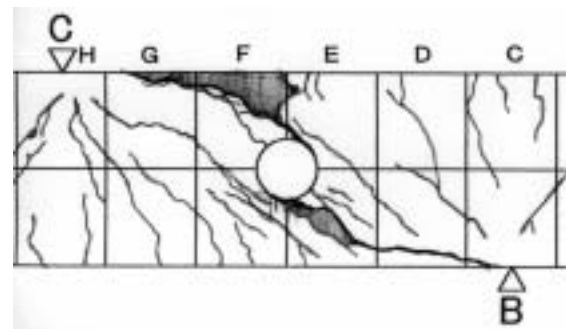


図-11 最終破壊状況（シリーズ：30-HS41）



写真-1 最終破壊状況（シリーズ：21-02）



写真-2 最終破壊状況（シリーズ：21-HS32）