

論文 RC 造有孔梁の補強材開発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：本論文は、鉄筋コンクリート造有孔梁の貫通孔補強方法に関して、施工性を重視した新しいタイプの貫通孔補強金物を提案し、その補強効果を確認するため有孔梁せん断実験を行って検討したものである。提案した補強金物の主な特徴は、せん断補強斜筋が梁幅方向にスパイラル状に連続しており、従来型の補強金物とは違い孔部1箇所を1個の補強金物で補強する金物である。実験の結果、本提案補強金物で補強した試験体は高いせん断強度が得られ、有孔梁の貫通孔補強に有効であることを確認した。また、提案補強金物を用いて補強した有孔梁のせん断強度は、日本建築学会式¹⁾で評価できることがわかった。

キーワード：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

現在、鉄筋コンクリート造有孔梁の貫通孔の補強には、**図—1**に示すような数種類の既製補強金物が開発され一般に使用されている。

これらに既製補強金物は補強金物の取付け方によって、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（以下、一体型補強金物と呼ぶ）と、後入れ施工を可能にするため、孔の上下で金物を分離させた補強金物（以下、分離型補強金物^{2) 3)}と呼ぶ）の2種類に大別できる。一体型補強金物は分離型補強金物に比べて形状はコンパクトでかつ軽量であるが、施工的には鉄筋工による主鉄筋工事終了後に設備配管工による補強金物の設置が行われる場合が多いため、後入れ施工が難しい。また、力学的にはせん断抵抗斜め筋の定着部が明確でないため、金物によっては分離型補強金物よりやや強度が小さい⁴⁾などの問題点が挙げられる。一方、分離型補強金物の問題点は、施工的には後入れ施工が可能であるが、連続孔がある場合、定着長が長いと定着部が孔に接して取付けが困難となる場合が生じる。

これらの補強金物を用いて貫通孔を補強する際の標準的な取付け金物数は、1貫通孔につき一体型補強金物は2枚、分離型補強金物は4枚の補強金物を用いられている。

本研究は、これらの問題点を踏まえ、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（以下、スパイラル型補強金物と呼ぶ）を提案した。提案した補強金物の有効性を立証するため、比較検討用に菱形の一体型補強金物（以下、菱形補強金物と呼ぶ。**図—2**参照）で補強した有孔梁試験体とスパイラル型補強金物で補強した有孔梁試験体を製作し、せん断実験を行ってスパイラル型補強金物の補強効果を実験的に検討する。そして、これからの鉄筋コンクリート造有孔梁の貫通孔補強作業の省力化、施工精度及び補強金物の品質の向上等を図るものである。

2. 提案補強金物

本研究で提案したスパイラル型補強金物の形状を**図—3**に、実物大の有孔梁に設置した取付け状況を**写真—1**に示す。

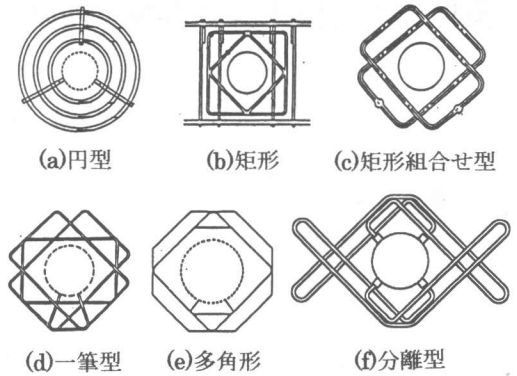
*1 西日本工業大学講師 工学部建築学科 工博（正会員）

*2 九州工業大学教授 工学部建設社会工学科 工博（正会員）

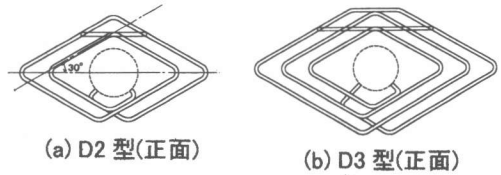
*3 九州工業大学助教授 工学部建設社会工学科 工博（正会員）

*4 九州共立大学教授 工学部開発工学科 工博（正会員）

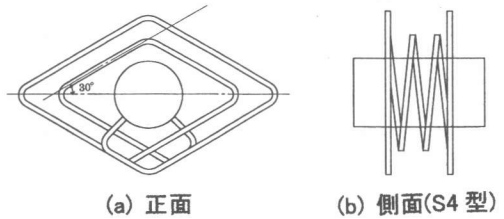
スパイラル型補強金物は、せん断抵抗斜め筋の左右両端部を梁材軸30度に折り曲げて菱形を形成し、その菱形数個を梁幅方向にスパイラル状に連続して構成したバネ性状を有するシンプルな形状である。したがって、一筆書きで製作が可能である。主な特徴を示すと、①孔部1箇所を1個の金物で補強する方法。②施工の際、補強金物がバネ状であるので、梁幅方向に伸縮ができるため取付け作業が容易である。③強度設計の際、せん断応力に対しては、梁幅方向の菱形の数(バネ数)、両端部の斜め筋数及び鉄筋径で対応できる。④補強金物の設置状態は、梁断面中央部にも数列の菱形補強筋が設置されているので、貫通孔の周囲全体を鉄筋で囲うような形状となる。等である。



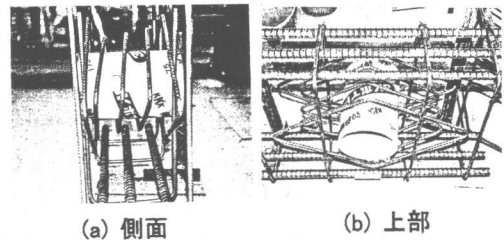
図—1 従来型補強金物



図—2 菱形補強金物



図—3 スパイラル型補強金物(S4型)



写真—1 スパイラル型補強金物取付け(S5型)

3. 実験概要

3.1 試験体

本実験は、目的に応じて2つのシリーズに分けて実験を行った。

試験体の概要を表—1に示し、有孔梁試験体の形状及び配筋詳細を図—4に示した。

シリーズIでは、スパイラル型補強金物との比較検討用に同形状の一体型の菱形補強金物で補強した有孔梁試験体を3体用意した。また、各試験体の孔際筋筋数の違いによる影響も加えて検討した。

シリーズIIでは、スパイラル型補強金物の斜め筋数の違いによる影響および複数の貫通孔における有効性について検討した。試験体数はシリーズIが7体、シリーズIIが4体、合計11体を用意した。両シリーズとも、曲げ降伏に先行してせん断破壊するように設計した。また、本実験に使用した素材試験結果を表—2に示す。

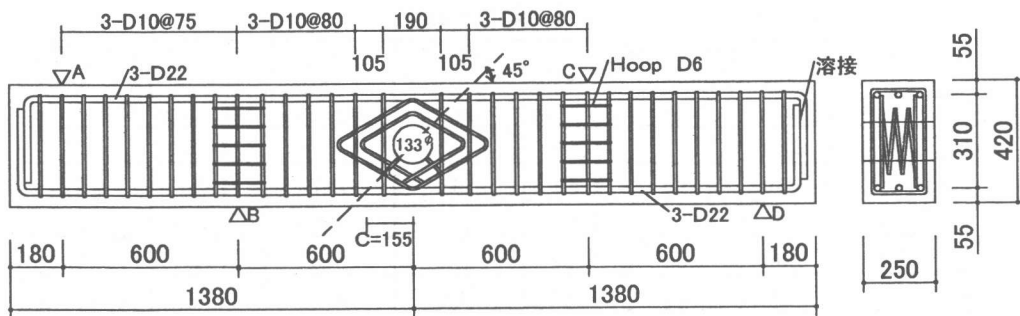
3.2 試験方法

図—5に実験装置を示す。試験は曲げの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。測定方法は、荷重を荷重計で、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

表—1 試験体概要

種別	試験体名		開孔補強		主筋配筋	断面寸法 b×D(mm)	孔径 He(mm)
	No.	記号	補強金物	肋筋			
シリーズI	1	O-1	なし	1組	3-D25 (SD390)	280×450	133 0.30*2
	2	O-2	なし	2組			
	3	D2-1	菱形D2型	1組			
	4	D3-1	菱形D3型	1組			
	5	D3-2	菱形D3型	2組			
	6	S5-1	スパイラルS5型	1組			
	7	S5-2	スパイラルS5型	2組			
シリーズII	8	N	無孔梁(2-D10@200)		3-D22 (USD685)	250×420	133 0.32*2
	9	O	なし	1組			
	10	S4-1	スパイラルS4型	1組			
	11*	S4-1d	スパイラルS4型	1組			

[注]*1:No.11は2孔有孔梁試験体(孔間隔:400mm) *2:数値は孔径比

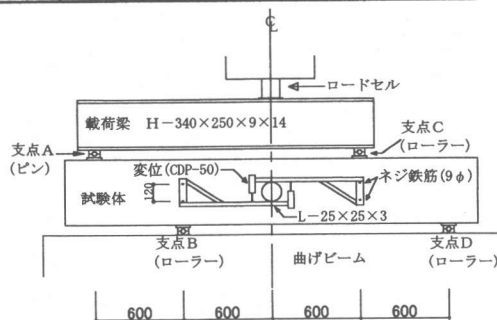


図—4 有孔梁試験体の形状(S4-1)

表—2 素材試験結果

(a)コンクリート					(b)鉄筋 (D10:SD295A,D25:SD390,D22:USD685)						
種別	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)	種別	呼び名	使用個所	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 ×10 ⁵ (N/mm ²)
I	21	180	28	22.3	23.6	I	D10	肋筋	384	534	1.96
			30	23.3			D10	金物	359	506	1.96
			33	25.1			D25	主筋	438	663	1.86
II	30	180	28	29.8	30.0	II	D10	肋筋	323	487	2.01
			30	30.2			D10	金物	337	485	2.10
			32	30.1			D22	主筋	718	902	1.78

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に歪ゲージを貼付して測定した。また、ひび割れ性状を調べるため、剛性およびせん断強度に最も影響を及ぼすと考えられる孔部接線ひび割れと孔部対角線ひび割れの2つのひび割れ幅を100kN毎にクラックスケールを用いて目視で計測した。



図—5 実験装置

4. 実験結果および考察

4.1 強度性状

実験結果を表—3に示す。図—6(a)(b)は各試験体の実験値と日本建築学会有孔梁計算式(以下、建築学会式と呼ぶ)で求めた計算値との関係を示したものである。

シリーズIにおいて、補強金物の補強効果を0-1, 0-2試験体のせん断強度実験値を基に比較検討すると、菱形補強金物D2型で補強したD2-1試験体は63kNの増加、D3型で補強したD3-1, D3-2試験体は、それぞれ88kN, 76kNのせん断強度の増加が見られた。また、スパイラル型補強金物で補強したS-1, S-2試験体はそれぞれ68kN, 56kNの増加が見られ補強金物の補強効果が確認できた。シリーズIの菱形補強試験体D2-1, D3-1の開孔部補強筋比の平均値とスパイ

ラル型補強試験体S-1の開孔部補強筋比は等しい値(1.31%)であるので、補強金物の違いによるせん断強度への影響を検討してみると、それぞれのせん断強度の増加は、菱形補強試験体が平均値で75kN、スパイラル型が68kNであり、ほとんど差が見られないことから、本実験においては補強金物の違いによるせん断強度への影響はそれほど顕著には現れなかった。また、各試験体のせん断強度実験値の計算値に対する割合は、D2-1試験体は1.26、D3-1, D3-2試験体の平均値は約1.25である。スパイラル型補強金物で補強したS-1, S-2試験体の平均値は1.24である。故に、これらの補強金物を用いて補強された有孔梁は、建築学会式で概ね評価できる

表—3 実験結果一覧

試験体名			開口部補強筋比			計算値 せん断強度 cQs(kN)	実験値 せん断強度 eQs(kN)	実験値 計算値 eQs/cQs	最大荷重時 支点間相対 変位 δ (mm)
			肋筋 sPw (%)	補強金物 kPw (%)	補強筋比 ΣPw (%)				
種別	No.	記号							
シリーズ I	1	O-1	0.29	-	0.29	163	237	1.45	4.20
	2	O-2	0.59	-	0.59	198	287	1.45	4.41
	3	D2-1	0.30	0.81	1.11	237	300	1.26	5.05
	4	D3-1	0.30	1.22	1.52	266	325	1.23	7.90
	5	D3-2	0.59	1.21	1.8	285	363	1.27	6.52
	6	S5-1	0.30	1.01	1.31	252	305	1.21	6.34
	7	S5-2	0.59	1.01	1.6	273	343	1.26	6.40
シリーズ II	8	N	0.29	-	0.29	191	276	1.45	7.26
	9	O	0.37	-	0.37	136	190	1.39	6.66
	10	S4-1	0.37	1.00	1.37	207	299	1.44	6.70
	11	S4-1d	0.37	1.00	1.37	207	279	1.35	8.30

「有孔梁計算式」

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

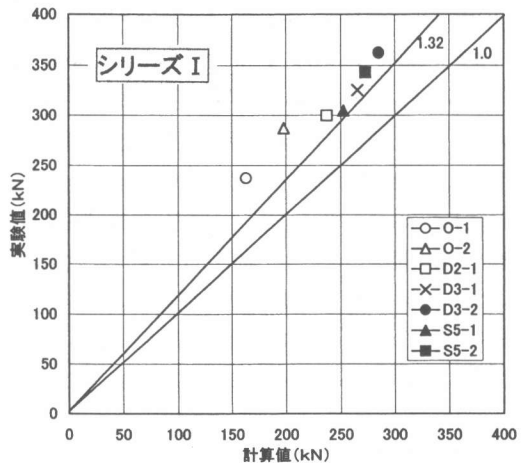
と考えられる。

シリーズIIにおいて、S4型のスパイラル型補強金物で補強したS4-1、S4-1d試験体は0試験体に比べてそれぞれ109kN、89kNのせん断強度の増加が見られた。このことから、S4型補強金物もS5型と同様に補強効果が確認できた。また、せん断強度実験値の計算値に対する割合は、S4-1、S4-1d試験体はそれぞれ1.44、1.35であり、S4型で補強した有孔梁試験体も建築学会式で安全側に評価できると考えられる。

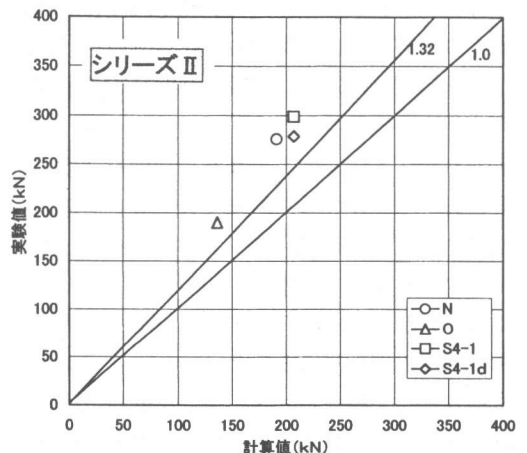
4.2 変形状

図—7(a)(b)にシリーズI、図—7(c)にシリーズIIの荷重—変位曲線を示した。

(1)シリーズI: 図—7(a)によれば、いずれの試験体も初期荷重から曲げひび割れ発生までの変位は小さいが、曲げひび割れが発生してからわずかに剛性の低下が見られ、対角線ひび割れ発生から接線ひび割れにかけて変位の増大が



図—6(a) 実験値と計算値(シリーズ I)



図—6(b) 実験値と計算値(シリーズ II)

見られる。そして、接線ひび割れが発生してから最大荷重位置までに変位の増加が見られ、この間の剛性低下が最も大きいことが分かる。S5-1 試験体は接線ひび割れ発生時に局所的な変位が見られるが、初期荷重時から最大荷重時までの履歴曲線は D2-1 試験体と類似していることが分かる。最大荷重時における変位について、0-1 試験体と比較すると、0-1 試験体の最大荷重時における変位が 4.20mm に対して、D2-1 試験体は 5.05mm、D3-1 試験体は 7.90mm、S5-1 試験体は 6.34mm であり、いずれの試験体も 0-1 試験体のそれよりも大きい。故に、補強金物で補強することにより最大荷重時変位が大きくなり、変形能を高める結果を示した。図-7(b)によれば、いずれの試験体も初期荷重時の曲げひび割れ発生時までの変位はほとんど見られないが、曲げひび割れ発生後はいずれの試験体も変位が徐々に増加しており、ほぼ類似した履歴曲線を示し、補強方法の違いによる変形形状への影響はそれほど顕著には現れなかった。

(2) シリーズⅡ：図 7(c)によれば S4-1, S4-1b 試験体は、接線ひび割れが発生する 500kN 付近までは、ほぼ類似した履歴曲線を示しているが、S4-1b 試験体は S4-1 試験体に比べて接線ひび割れ発生から最大荷重にかけて変位の増加割合が大きく、明らかに剛性が低下していることが分かる。これは S4-1b 試験体が複数孔で孔位置が支点位置に近い対角線ひび割れの発生が早いことや、2 孔間斜めせん断ひび割れ発生等の複数の要因による影響だと考えられる。

4.3 歪性状

図-8 にスパイラル型補強金物で補強した補強筋の荷重—歪曲線の一例を示す。図に示すように肋筋と違い補強金物の歪は初期荷重段階から歪変化が生じる。補強金物の歪は外側鉄筋と内側鉄筋の歪変化に違いが見られ、外側の補強金物の歪が降伏に達するか或いは降伏値に近い歪を生じるが、内側の補強金物の歪は降伏値にまで達していない。内側の歪が増加しなくなった原因は、孔部周辺に斜めせん断ひび割れや接

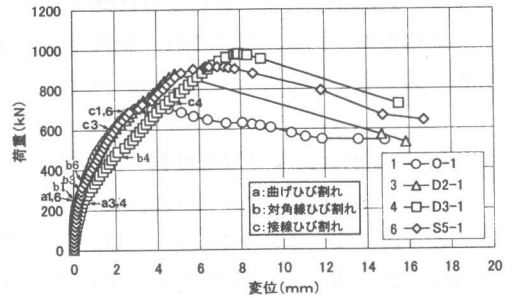


図-7(a) 荷重—変位曲線(シリーズⅠ: 肋筋1組)

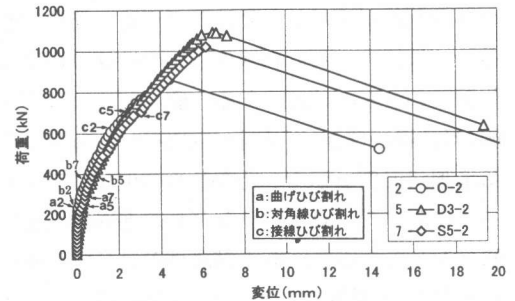


図-7(b) 荷重—変位曲線(シリーズⅠ: 肋筋2組)

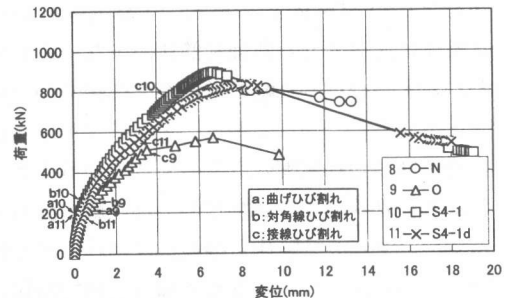


図-7(c) 荷重—変位曲線(シリーズⅡ)

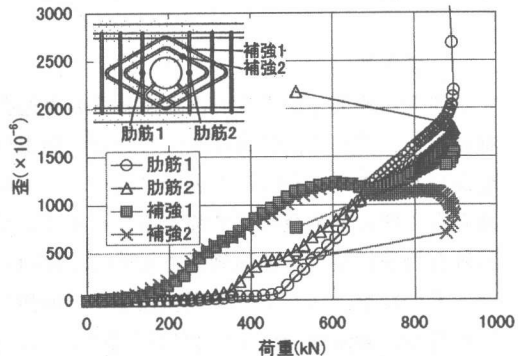


図-8 荷重—歪曲線(S4-1)

線ひび割れが発生したことにより、コンクリートと補強金物の拘束が解除され、補強金物の定着力が低下したためと考えられる。

4.4 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、まず、最大曲げモーメントを受ける支点位置に曲げひび割れが発生し、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、最大荷重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-9 にひび割れ幅(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。孔際筋筋の少ないシリーズIにおいて、対角線ひび割れの進展状況を比較検討してみると、S5-1試験体のひび割れ幅の進展がO-1試験体に比べて、非常に緩やかであることがわかる。スパイラル型補強金物で補強したS5-1試験体と一体型の菱形補強金物で補強したD3-1試験体とでは、S5-1試験体がD3-1試験体に比べてせん断補強筋比が少ないにもかかわらず、ひび割れ幅の進展がやや緩やかな傾向を示した。このことから、スパイラル型補強金物がひび割れ制御の点でも優れていることがわかる。図-10に各試験体の最終破壊状況例を示す。いずれの試験体も接線ひび割れ位置で破壊しているが、スパイラル型補強金物で補強したS試験体は、O試験体に比べて孔周辺にひび割れが数多く発生しており、かつ分散している。

5. まとめ

本研究は鉄筋コンクリート造有孔梁の貫通孔補強方法に関して、補強作業の省力化、施工精度及び品質の向上を図ることを目的とした1貫通孔を1個の補強金物で補強するスパイラル型補強金物を提案し、補強効果を実験的に検討した。その結果、スパイラル型補強金物で補強した有孔梁試験体は、せん断強度が向上し、ひび割れ制御にも補強効果が見られたことより、スパイラル型補強金物が有孔梁の貫通孔補強に有効

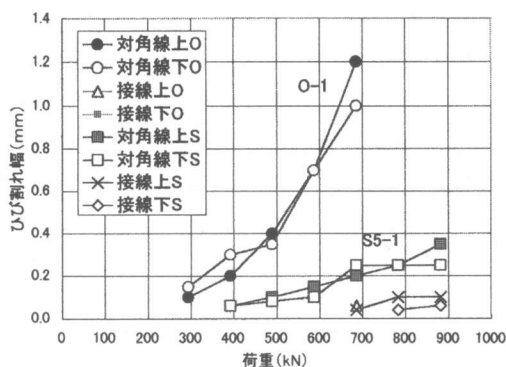


図-9 ひび割れ幅増加状況(O-1,S5-1)

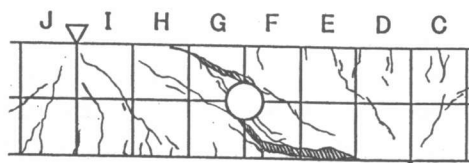


図-10(a) 最終破壊状況(O-2試験体)

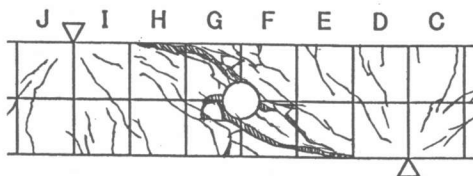


図-10(b) 最終破壊状況(S-2試験体)

であることが確認できた。また、せん断強度の推定においては、スパイラル型補強金物で補強した試験体の実験値の計算値に対する割合は約1.24~1.40程度であり、建築学会式を用いて概ね評価できると考えられる。

参考文献

- 1) 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
- 2) 前口剛洋：分離型補強材で補強したRC造有孔梁の補強方法に関する実験的研究，日本建築学会大会学術講演概要集，pp. 931-932，1999. 9
- 3) 前口他：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
- 4) 前口他：定着部を有する簡易補強材を用いたRC造有孔梁の補強方法に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，第17巻，第2号，pp. 619-624，1995. 6