

論文 分離型補強材を用いた 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：高強度鉄筋コンクリート造有孔梁の貫通孔補強に，2種類の高強度鉄筋分離型補強金物（a30型，a45型）を用いて補強し，その補強効果を実験的に検討した。その結果，2種類の分離型補強金物は補強効果に違いが見られたが，せん断強度の増加及びひび割れ制御等に効果が見られ，高強度コンクリート造有孔梁の補強に有効であることが確認できた。また，分離型補強金物を梁幅中央位置に設置することで，粘りのある変形性能を示すことが明らかとなった。

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

鉄筋コンクリート造有孔梁の貫通孔補強に関して，本研究ではこれまで普通鉄筋コンクリート造を対象とした貫通孔補強方法について，後入れ施工が可能な補強金物（以下，分離型補強金物と呼ぶ）を考案し，その補強効果を実験的に検討してきた。しかし，最近では，高強度材料の出現及び設計・施工技術の向上に伴って，設計基準強度が $60\text{N/mm}^2 \sim 100\text{N/mm}^2$ を有する高強度鉄筋コンクリート造建物が数多く建てられるようになってきた。

そこで本研究は，上述した範囲の高強度鉄筋コンクリート造有孔梁の貫通孔補強において，高強度鉄筋で加工した分離型補強金物を製作し補強金物の軽量化を図り，経済性及び補強作業効率を向上する目的で，有孔梁せん断実験を行って分離型補強金物による補強方法の有効性を実験的に検討したものである。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 分離型補強金物

梁貫通孔の補強作業時において，鉄筋工事における主鉄筋配筋作業終了後でも，既に配筋された

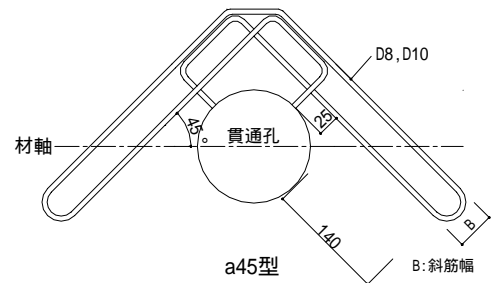


図 - 1 分離型補強金物

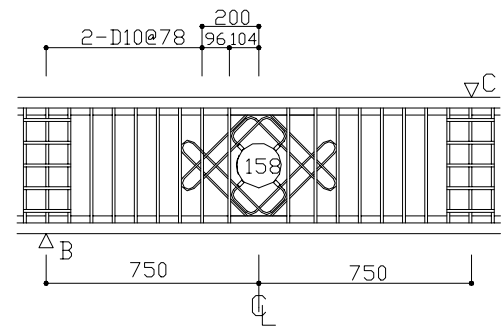


図 - 2 試験体配筋詳細図

スラブ筋や肋筋間を通して補強配筋が可能となるように，孔の上下で金物を分割して施工の安全性及び補強作業の合理化を図ったくの字型形状の補強金物である。基本形状は図 - 1 に示すように，せん断抵抗筋となる 2本の斜め鉄筋の末端部をU字型に加工して連続性を持った一筆書き形状とし，

*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）

表 - 1 コンクリート試験結果

呼び強度 (N/mm ²)	試験体	材令 (日)	圧縮強度 (N/mm ²)	平均強度 (N/mm ²)
60	1~6	28,31	76.7, 73.6	75.2
80	7~9	31	88.4	88.4
	10~12	29,31	76.8, 83.1	80.0

表 - 2 鉄筋試験結果

呼び名	使用箇所	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
D8(KSS785)	金物	966	1155
D10(KSS785)	肋筋, 金物	983	1140
D25, D22(USD685)	主筋	713	894

表 - 3 試験体開孔部周辺補強の特徴

シリーズ	No.	試験体記号	断面・孔(mm)	使用材料	特徴
FC60	1	60-N	280 × 480	Fc: 60N/mm ² 肋筋: D10 金物: D8	無孔
	2	60-158R10	280 × 480 (孔径: 158)		有孔・肋筋1組 + 補強金物無し
	3	60-158R12			有孔・肋筋1組 + 補強金物2列
	4	60-158R13			有孔・肋筋1組 + 補強金物3列
	5	60-158Ra12			有孔・肋筋1組 + a30型補強金物2列
	6	60-158WR12			有孔(孔2)・肋筋1組 + 補強金物2列
FC80	A	7		280 × 630 (孔径: 210)	Fc: 80N/mm ² 肋筋: D10 金物: D10
		8	有孔・肋筋1組 + 補強金物2列		
		9	有孔・肋筋2組 + 補強金物2列		
		10	有孔・肋筋1組 + a30型補強金物2列		
	B	11	300 × 750 (孔径: 260)	有孔・肋筋1組 + 補強金物2列	
		12		有孔・肋筋1組 + 補強金物1列	

定着部の定着効果の向上を図った。本実験で用いた分離型補強金物は、斜め筋が部材軸 45 度の a45 型と偏心孔に対応するため斜め筋を部材軸 30 度とし、補強金物の高さを低くした a30 型の 2 種類を用いた。

2.2 試験体

試験体は、コンクリート呼び強度 $F_c=60\text{N/mm}^2$ と高強度鉄筋 ($y=800\text{N/mm}^2$ 級) の組合せ及びコンクリート呼び強度 $F_c=80\text{N/mm}^2$ と高強度鉄筋 ($y=800\text{N/mm}^2$ 級) の組合せとし、それぞれシリーズ FC60, FC80 に分類した。試験体の主な共通要因を以下に述べる。

シリーズ FC60 試験体は梁幅 $b=280\text{mm}$ 、梁せい $D=480\text{mm}$ 、試験体全長 $L=3400\text{mm}$ 、せん断スパン比 $a/d=1.76$ 、貫通孔位置は、貫通孔を 2 個設けた有孔梁試験体 60-158WR12 を除き、せん断スパン $L_o=1500\text{mm}$ 及び梁せいの中央に設置し、開孔直径 $H_e=158\text{mm}$ 、孔径比 $H_e/D=0.33$ とした。主筋は上端筋、下端筋共 3-D25、肋筋は D10、補強金物には D8 の高強度鉄筋を用いた。試験体数は 6 体である。

シリーズ FC80 試験体は、断面寸法、せん断スパン比、開孔直径及び孔径比の違いにより FC80A、FC80B に細分類し、それぞれ梁幅 $b=280\text{mm}$ 、 300mm 、梁せい $D=630\text{mm}$ 、 750mm 、試験体全長

$L=3800\text{mm}$ 、せん断スパン比 $a/d=1.52$ 、 1.25 である。貫通孔位置は、せん断スパン $L_o=1700\text{mm}$ 及び梁せいの中央部に設置し、FC80A は開孔直径 $H_e=210\text{mm}$ 、孔径比 $H_e/D=0.33$ 、FC80B は開孔直径 $H_e=260\text{mm}$ 、孔径比 $H_e/D=0.35$ とし、実用的に上限とされる開孔径比 (梁せいの $1/3$) よりも若干大きな開孔を設けた。主筋は上端筋、下端筋共 3-D25 と 2-D22 の組み合わせによる 2 段配筋とし、肋筋、補強金物は共に D10 の高強度鉄筋を用いた。試験体数は 6 体である。シリーズ FC60、FC80 試験体共に曲げ降伏に先行してせん断破壊するように設計した。

本実験に用いた使用材料の試験結果を表 - 1, 2 に示す。また、試験体の種類及び特徴を表 - 3 に示し、その配筋詳細例を図 - 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た。加力はシリーズ FC60 試験体が一方向単調載荷、シリーズ FC80 試験体は一方向繰り返し載荷とした。繰り返し試験は、せん断スパンの $1/400(4.25\text{mm})$ 、 $1/200(8.5\text{mm})$ 、 $1/113(15.0\text{mm})$ として各 1 回繰り返しを行った後、最終破断まで載荷することとした。

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

表 - 4 実験結果

シリーズ [金物径]	NO.	試験体記号	開孔部補強筋比			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 eQ/cQ	
			肋筋 sPw	補強金物 kPw	補強筋比 Pw				
FC60 [D8]	1	60-N	0.0026	-	0.0026	436	579	1.33	
	2	60-158R10	0.0027	-	0.0027	288	446	1.55	
	3	60-158R12	0.0028	0.0054	0.0082	385	643	1.67	
	4	60-158R13	0.0028	0.0082	0.0110	422	710	1.68	
	5	60-158Ra12	0.0028	0.0053	0.0081	381	554	1.46	
	6	60-158WR12	0.0028	0.0054	0.0082	388	677	1.75	
FC80 [D10]	A	7	80-210R10	0.0020	-	0.0020	417	696	1.67
		8	80-210R12	0.0021	0.0059	0.0080	571	897	1.57
		9	80-210R22	0.0043	0.0060	0.0103	597	1054	1.77
		10	80-210Ra12	0.0021	0.0057	0.0078	543	755	1.39
	B	11	80-260R12	0.0016	0.0044	0.0060	679	1070	1.58
		12	80-260R11	0.0016	0.0022	0.0038	599	928	1.55

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に歪ゲージを貼付して測定した。

3. 実験結果及び検討

3.1 強度性状

実験結果を表 - 4 に示す。図 - 3,4 は各試験体の実験値と日本建築学会式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。

シリーズ FC60 試験体において、補強金物の補強効果は無補強有孔梁試験体 60 - 158R10 と分離型補強有孔梁試験体と比較検討すると、a45 型で補強した 60 - 158R12 試験体は、せん断強度で 197 kN、補強金物を 1 つ増して 3 列配筋とした 60 - 158R13 試験体はせん断強度で 264 kN の増加が見られ、せん断スパン内に 2 個の貫通孔を有する 60-158WR12 試験体はせん断強度で 231 kN の増加が見られた。また、a30 型補強金物 2 列で補強した 60 - 158Ra12 試験体はせん断強度で 108 kN の増加が見られた。

計算値に対する実験値の割合は、a45 型補強金物を使用した有孔梁試験体 3 体 (60 - 158R12, 60 - 158R13, 60 - 158WR12) の平均値は 1.70 であり、a30 型補強金物を使用した 60 - 158Ra12 試験体は 1.46 である。a30 型は a45 型補強金物を使用した有孔梁試験体に比べて小さい値を示したが、これらの補強金物を用いて補強した有孔梁は、建

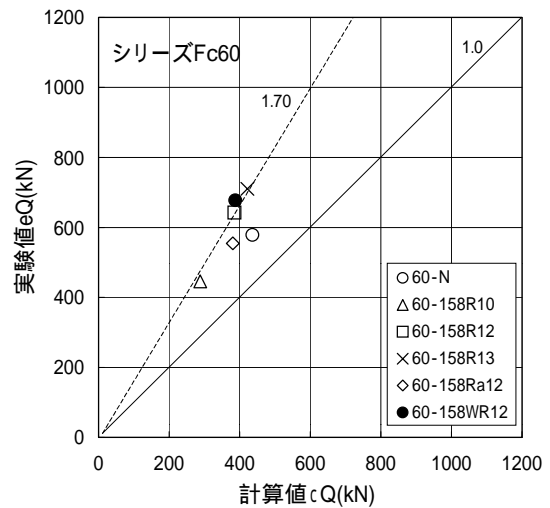


図 - 3 実験値と計算値の関係(FC60)

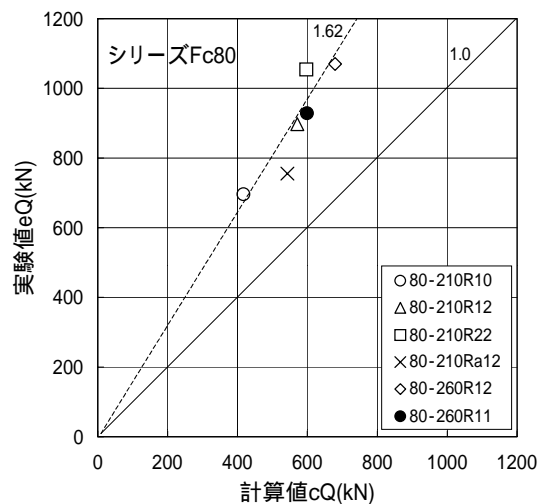


図 - 4 実験値と計算値の関係(FC80)

築学会式で安全側に評価できると考えられる。

以上のことから呼び強度 $Fc60N/mm^2$ 級(実平均強度 $c = 75N/mm^2$)の高強度コンクリート造有孔

梁の貫通孔補強に高強度鉄筋の分離型補強金物で補強する方法は有効であると考えられる。

シリーズ FC80 試験体において、補強金物の補強効果が無補強有孔梁試験体 80 - 210R10 を基に比較検討すると、80 - 210R10 試験体を a45 型補強金物で補強した 80 - 210R12 試験体は、せん断強度が 201 kN 増加し、80-210R12 試験体に孔際筋筋を 1 組増やした 80 - 210R22 試験体はせん断強度で 358 kN の増加が見られた。

また、a45 型補強金物を使用した有孔梁試験体のせん断強度実験値の計算値に対する実験値の割合は平均値で 1.62 であり、a30 型補強金物を使用した試験体の計算値に対する実験値の割合は 1.39 である。シリーズ FC60 試験体同様に、a30 型補強金物を使用した試験体が a45 型補強金物を使用した試験体に比べせん断強度に寄与する割合が小さい。これは a30 型補強金物の定着部の末端部が梁せいの 1/2 程度であったことによるもので、いわゆる補強金物の定着長不足によるものと考えられる。シリーズ FC80B の開孔径を梁せいの約 35% に大きくした 80 - 260R12 試験体の計算値と実験値の割合は 1.58、同様に開孔径を梁せいの約 35%、かつ補強金物を 1 列配筋として開孔補強筋比を小さくした 80 - 260R11 試験体 ($P_w=0.38\%$) の計算値との実験値の割合は 1.55 であり、補強金物を多くして開孔補強筋比を増した試験体がせん断強度への寄与が若干大きいことがわかる。故に、コンクリート強度 F_c80N/mm^2 級の高強度コンクリート造有孔梁の貫通孔補強に高強度鉄筋分離型補強金物で補強する方法は、日本建築学会式で安全側に評価できると考えられる。以上のことから、呼び強度 F_c80N/mm^2 級(実平均強度 $c = 80 \sim 88N/mm^2$)の高強度コンクリート造有孔梁の貫通孔補強においても、呼び強度 F_c60N/mm^2 級同様に高強度鉄筋分離補強金物の有効性が確認できた。

3.2 変形性状

図 - 5 にシリーズ FC60 試験体、図 - 6,7 にシリーズ FC80 試験体の荷重 - 変形曲線を示す。

図 - 5 によれば、無補強試験体 60 - 158R10 の変形性状は曲げひび割れ発生後から徐々に変形が

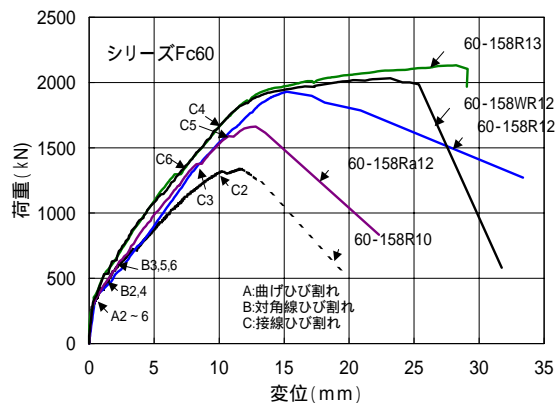


図 - 5 荷重 - 変形曲線 (FC60)

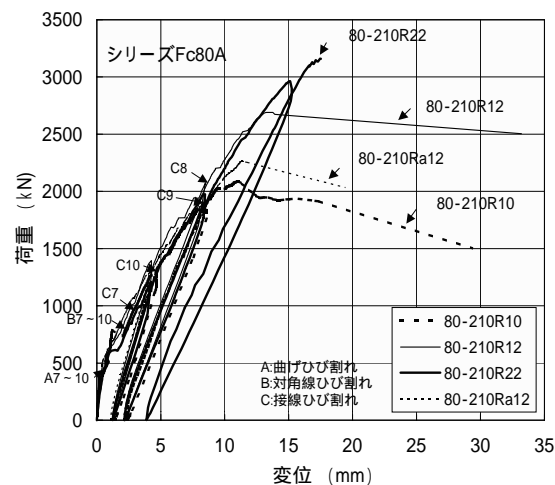


図 - 6 荷重 - 変形曲線 (FC80A)

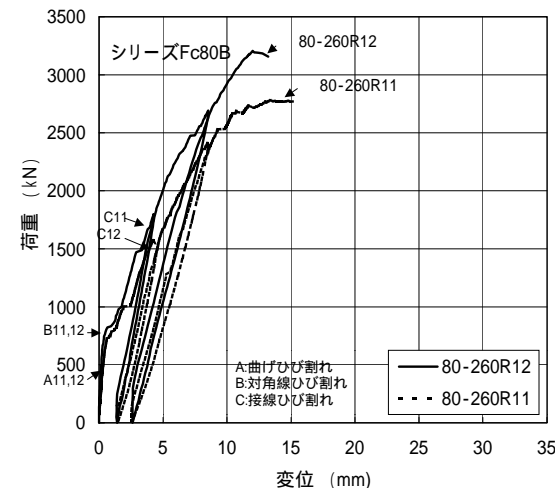


図 - 7 荷重 - 変形曲線 (FC80B)

進み、対角線ひび割れ発生から接線ひび割れにかけて変形が大きくなり、その直後に急激な剛性低下を示した。

分離型補強金物で補強した 60 - 158R12 及び 60 - 158R13 試験体は、60 - 158R10 試験体に比べて

対角線ひび割れ発生付近から接線ひび割れ発生までの変形の割合が小さく、剛性低下も小さい。また、接線ひび割れ発生後も緩やかに変形が進み、急激な剛性低下は見られない。特に 60 - 158 R 13 試験体は、接線ひび割れ発生から最大荷重時にかけて粘りのある高い変形性能を示し、最大荷重時支点間相対変位も他の試験体に比べ最も大きい値を示した。これは、せん断補強筋比の違いによることも考えられるが、60 - 158 R 13 試験体の補強金物の 1 組が梁幅中央に配置されていることにより、梁幅端部に配置された他の試験体の補強金物に比べて、せん断ひび割れによる鉄筋へのコンクリートの付着低下の影響が小さかったことによるものと考えられる。

a30 型補強金物で補強した 60 - 158 R a12 試験体は、曲げひび割れ発生から対角線ひび割れ発生までは、60 - 158 R 12 試験体と類似した履歴曲線を示したが、接線ひび割れ発生時に局所的な変形の増大が見られ、最大荷重時までの剛性低下も大きく、最大荷重時支点間相対変位も 60 - 158 R 12 試験体に比べて小さい。

60 - 158 W R 12 試験体は、初期荷重から接線ひび割れ発生までは 60 - 158 R 13 試験体と非常に類似した変形性状を示した。また、対角線ひび割れから接線ひび割れに至るまでに、2 孔間にせん断ひび割れが発生したがそれによる急激な剛性低下は見られず、最大荷重に達するまで緩やかに変形が進み、粘りのある履歴曲線を示した。

シリーズ FC80A 試験体について、80 - 210 R 10 試験体は、曲げひび割れ発生後から対角線ひび割れ発生にかけて徐々に変位が増大し、対角線ひび割れ発生時に荷重が低下すると同時に局所的に変位が増大した。その後接線ひび割れが発生し、最大荷重までに変位が徐々に増大し剛性が低下した。尚、最大荷重後は粘りのある履歴曲線を示しているが、これは最終破断状況からもわかるように比較的初期荷重時に発生した対角線ひび割れが最大荷重時まで卓越し、そのひび割れ位置での肋骨が有効に働いたものと考えられる。

80 - 210 R 12 試験体は、対角線ひび割れが発生し

た直後に剛性の低下が見られたが、その後最大荷重までの変形性状は緩やかな曲線を示し、繰り返しによる剛性低下もそれほど見られない。

80 - 210 R 22 試験体は、対角線ひび割れ発生時に変位の増大が見られたが、その後の接線ひび割れから最大荷重時付近まで著しい剛性低下は見られない。また、繰り返しによる剛性低下も小さい。

80 - 210 R a12 試験体は、曲げひび割れから接線ひび割れに至るまでの剛性低下が他の試験体に比べて大きい。尚、いずれの試験体も繰り返しによる影響は部材角 1/200 程度ではそれほど顕著に表れなかった。

シリーズ FC80B 試験体について、80 - 260 R 12 試験体は、対角線ひび割れ発生時に局所的に変位が増大したが、その後接線ひび割れ発生まで剛性低下は見られない。接線ひび割れから最大荷重時にかけても剛性低下は小さく、繰り返し荷重による影響もほとんど見られない。

80 - 260 R 11 試験体は、80 - 260 R 12 試験体に比べて相対的に剛性低下が大きい、類似した履歴曲線を示した。また、最大荷重時付近で変位が増大するが 80 - 260 R 12 試験体に比べて破断までの粘りが見られる。これは、60-158 R 13 試験体の変形性状にも見られたように、梁幅中央位置に設置された補強金物の歪が降伏点に達していることから、この補強金物が最終破断に至るまでせん断力に対して有効に働いたものと考えられる。

3.3 ひび割れ及び破壊性状

シリーズ 60 試験体において、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。補強金物で補強していない 60-158 R 10 試験体のみが、この対角線ひび割れが卓越し、破壊モードは対角線ひび割れ位置でのせん断破壊である。一方、補強金物で補強した試験体は対角線ひび割れが発生した後、最大荷重付近で孔の上下位置に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

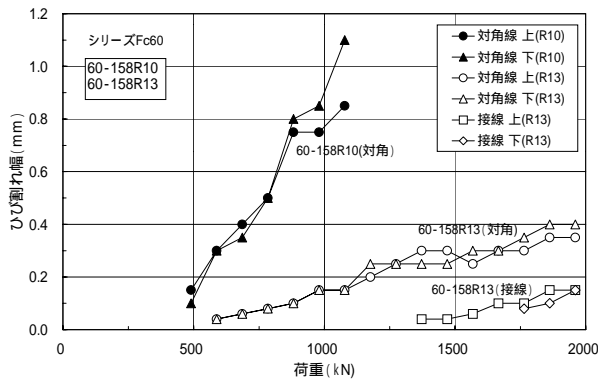


図 - 8 ひび割れ幅増加状況 (FC60)

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。

補強金物を用いていない 60-158R10 試験体と補強金物 3 列配筋の 60-158R13 試験体で対角線ひび割れの進展状況を比較検討してみると、60-158R13 試験体のひび割れ幅の進展が 60-158R10 試験体に比べて、非常に緩やかであることがわかる。

図 - 9 はシリーズ FC80 試験体のひび割れ幅増加状況の一例を示したものであるが、シリーズ FC60 試験体と同様に補強金物で補強した 80-210R12 試験体が 80-210R10 試験体に比べてひび割れ幅の進展が非常に緩やかである。

80-210R10 試験体にも接線ひび割れが発生したが、このひび割れの進展状況においても、補強金物で補強した試験体と補強金物の無い試験体では対角線ひび割れ同様に顕著な違いが見られる。

試験体の最終破壊状況例を図 - 10 に示す。シリーズ FC60 試験体の破壊状況は図で見られるように、補強金物で補強した有孔梁試験体はいずれの試験体も接線ひび割れ位置で破壊し、補強金物を用いていない 60-158R10 試験体に比べて、小さな幅のせん断ひび割れが数多く発生し、かつ孔周辺に分散して見られた。

シリーズ FC80 試験体の破壊状況は、FC60 試験体と同様にいずれの試験体も接線ひび割れ位置で破断したが、特に孔径比の大きい FC80B 試験体は、破断時に大きな爆裂音を発し、孔部上下の接線ひび割れ部分のコンクリート片が飛び散り、孔部周辺の主筋、肋筋及び補強金物等の一部が露出する結果を示した。

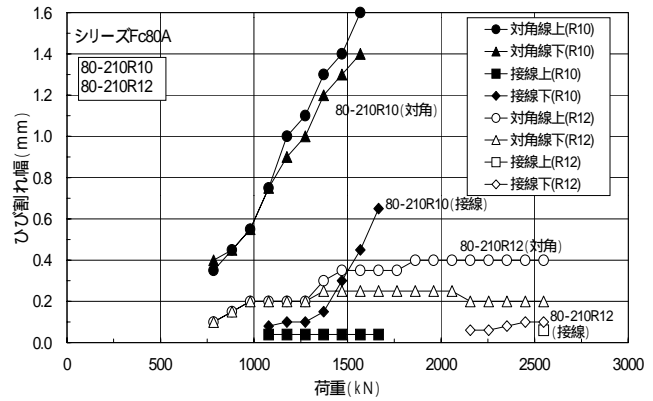


図 - 9 ひび割れ幅増加状況 (FC80)

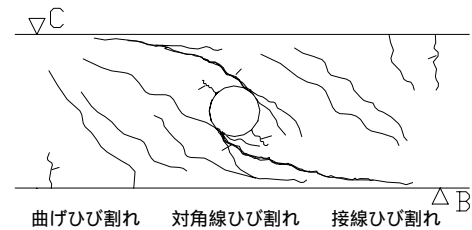


図 - 10 最終破壊状況例 (60-158R12)

4. まとめ

実験結果より、コンクリート設計基準強度 $F_c60 \sim 80 \text{ N/mm}^2$ 級(実圧縮強度 $c=70 \sim 90 \text{ N/mm}^2$ 級)の高強度鉄筋コンクリート造有孔梁の開孔補強において、高強度鉄筋分離型補強金物 ($y=800 \text{ N/mm}^2$ 級) で補強した有孔梁試験体は、a45 型と a30 型のせん断強度増加割合に違いが見られたが、共に高強度コンクリート造有孔梁の貫通孔補強材として有効であることが確認できた。尚、a30 型の補強金物の補強効果を向上するためには、十分な定着長をとる必要があると考えられる。これに関しては、今後の検討課題としたい。

参考文献

- 1) 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梗概集，pp.931-932，1999.9
- 2) 前口他：定着部を有する簡易補強材を用いた RC 造有孔梁の補強効果に関する研究，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
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，1999，pp.271-274