コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.3, 1998

論文　高強度材料を用いた開孔を有するRC梁のせん断耐力に関する実験研究

小山政英*1・清水弥一*2・中野克彦*3・松崎育弘*4

要旨:高強度材料(コンクリート,せん断補強筋)を用いた鉄筋コンクリート造(以下ＲＣ造)梁部材に開孔を設け，高強度鉄筋で製作した簡易補強金物で開口部をせん断補強した梁部材の曲げせん断実験を行った。その結果せん断耐力評価にあたって，コンクリート強度と鋼材の有効補強効果との関係は，普通強度材料を用いた開孔を有するＲＣ梁のせん断耐力実験式(広沢式)を準用するには検討の余地があることを示し，本実験結果から得られた開口部せん断補強筋の入力応力度(歪みゲージ測定値とヤング係数を乗じて算出した応力度，以下実応力度)を定量化し，その結果を用いて高強度材料を用いた開孔を有するＲＣ梁のせん断耐力を推定することができることを示した。

キーワード:高強度材料，実応力度，補強筋量，開口部せん断補強筋(L1筋,L2筋，Ｓ筋)

1. はじめに

高強度材料(コンクリート強度,開口部せん断補強筋)を用い，設備配管等の貫通孔を設けたＲＣ有孔梁部材のせん断耐力評価は，普通強度材料を用いて提案されている広沢式を準用しているのが現状であり，各材料強度の組合わせを含め高強度材料を用いた場合の評価は不明な点が多い。そこで本研究では高強度コンクリート(Fc=42,60N/mm²)を用いたＲＣ有孔梁開口部を，普通強度及び高強度せん断補強筋(σwy=800,1300N/mm²)を用いて製作した簡易補強金物により補強したＲＣ有孔梁の曲げせん断実験を行い，開口部せん断補強筋に生じている応力度を把握し，開孔を有するＲＣ梁部材のせん断耐力評価及び構造性能を知ることを目的とする。

2. 実験概要

(1) 開口部簡易補強金物

図-1に実験で使用した開口部簡易補強金物を示す。補強金物は，せん断力に抵抗する斜筋として高強度鉄筋にも対応するL1筋を，そしてL1筋の定着を考慮して設けたL2筋(材質はすべてSD295A材)を溶接し成立している。

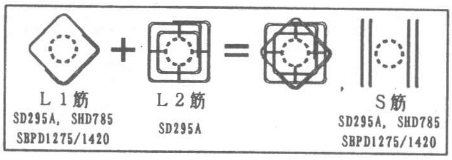

図-１　開口部簡易補強金物

(2) 試験体形状

図-2に試験体形状を，表-1には試験体要因及び実験結果一覧を示す。断面b×D=30cm×45cm

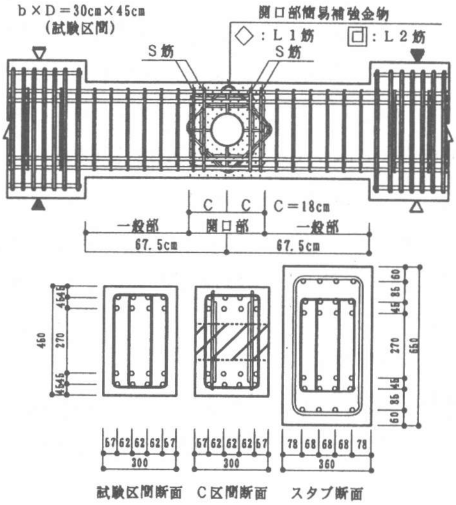

図-２　試験体形状

*1東京理科大学大学院　工学研究科建築学専攻(正会員)
*2(株)ＫＳ設計　工修(正会員)
*3東京理科大学助手　工学部建築学科(正会員)
*3東京理科大学教授　工学部建築学科　工博(正会員)

表-1　試験体要因及び実験結果一覧

	NO.	コンクリート		開口部補強筋												一般補強筋			最大耐力
		Fc	cσB	金物(L1筋)				*4) 金物(L2筋)			S筋				全体	せん断補強筋			実験値
		N/mm2	N/mm2	材質	配筋	pw0L1	*1) σwsL1	配筋	pw0L2	*3) σwsL2	材質	配筋	pw0s	*3) σwsS	*5) pw0	材質	配筋	pw	(KN)
第1シリーズ	1-1		44.1		2-D10	0.37	360.9	4-D10	0.53	222.7		4-D10'	0.53	327.2	1.43		4-D6 @80	0.53	388
	1-2		49.0	Y-TYPE	2-D13	0.66	341.3	4-D10	0.53	197.5	Y-TYPE	4-D10'	0.53	324.0	1.72	Y-TYPE	4-D6 @60	0.71	479
	1-3		49.4		3-D13	1.00	341.3	6-D10	0.79	178.2		4-D10'	0.53	341.5	2.32		4-D6 @40	1.07	575
	1-4		44.4		2-UHD-10	0.37	634.3	4-D10	0.53	229.5		4-UHD10	0.53	291.7	1.43		4-UHD6 @80	0.53	454
	1-5	42	43.9	H-TYPE	2-UHD-13	0.66	404.4	4-D10	0.53	143.0	H-TYPE	4-UHD10	0.53	306.7	1.72	H-TYPE	4-UHD6 @60	0.71	453
	1-6		45.2		3-UHD-13	1.00	348.2	6-D10	0.79	129.3		4-UHD10	0.53	310.5	2.32		4-UHD6 @40	1.07	556
	1-7		51.2		3-UHD-13	1.00	442.8	6-D10	0.79	153.3		6-UHD10	0.79	357.5	2.58		4-UHD6 @35	1.22	634
	1-8		44.6		2-U9.0	0.34	700.5	4-D10	0.53	171.3		4-U9.0	0.47	412.7	1.34		4-U6.4 @80	0.50	442
	1-9		44.3	U-TYPE	2-U12.6	0.65	501.8	4-D10	0.53	184.4	U-TYPE	4-U9.0	0.47	380.6	1.66	U-TYPE	4-U6.4 @60	0.66	489
	1-10		45.4		3-U12.6	0.98	365.6	6-D10	0.79	175.0		4-U9.0	0.47	381.1	2.25		4-U6.4 @40	1.00	522
	1-11		56.8	Y-TYPE	2-D10	0.37	360.9	4-D10	0.53	210.6	Y-TYPE	4-D10'	0.53	408.2	1.43	Y-TYPE	4-D6 @80	0.53	415
	1-12		56.9		2-UHD-10	0.37	603.1	4-D10	0.53	162.1		4-UHD10	0.53	388.1	1.43		4-UHD6 @80	0.53	475
	1-13		61.1	H-TYPE	2-UHD-13	0.66	456.3	4-D10	0.53	136.2	H-TYPE	4-UHD10	0.53	497.4	1.72	H-TYPE	4-UHD6 @60	0.71	497
	1-14	60	61.5		3-UHD-13	1.00	449.9	6-D10	0.79	167.8		4-UHD10	0.53	505.2	2.32		4-UHD6 @40	1.07	618
	1-15		57.2		2-U9.0	0.34	646.4	4-D10	0.53	221.4		4-U9.0	0.47	409.1	1.34		4-U6.4 @80	0.50	456
	1-16		61.7	U-TYPE	2-U12.6	0.65	444.8	4-D10	0.53	140.6	U-TYPE	4-U9.0	0.47	456.8	1.66	U-TYPE	4-U6.4 @60	0.66	489
	1-17		62.1		3-U12.6	0.98	489.5	6-D10	0.79	101.8		4-U9.0	0.47	491.5	2.25		4-U6.4 @40	1.00	642
第2シリーズ	2-1				2-D10	0.37	375.6	4-D10	0.53	169.1		4-D10'	0.53	327.2	1.42		4-D6 @80	0.53	320
	2-2			Y-TYPE	3-D10	0.56	375.6	6-D10	0.79	210.2	Y-TYPE	4-D10'	0.53	324.0	1.87	Y-TYPE	4-D6 @60	0.71	367
	2-3	24	31.9		3-D13	1.00	359.0	6-D10	0.79	112.5		4-D10'	0.53	341.5	2.31		4-D6 @40	1.07	408
	2-4				2-UHD-10	0.37	502.4	4-D10	0.53	131.9		4-UHD10	0.53	291.7	1.42		4-UHD6 @80	0.53	315
	2-5			H-TYPE	3-UHD-10	0.56	406.8	6-D10	0.79	121.8	H-TYPE	4-UHD10	0.53	306.7	1.87	H-TYPE	4-UHD6 @60	0.71	358
	2-6				3-UHD-13	1.00	306.4	6-D10	0.79	88.5		4-UHD10	0.53	310.5	2.31		4-UHD6 @40	1.07	401
	2-7				2-UHD-10	0.37	614.9	4-D10	0.53	218.8		4-UHD10	0.53	357.5	1.42		4-UHD6 @80	0.53	410
	2-8			H-TYPE	3-UHD-10	0.56	675.2	6-D10	0.79	206.2	H-TYPE	4-UHD10	0.53	412.7	1.87	H-TYPE	4-UHD6 @60	0.71	492
	2-9	36	39.7		3-UHD-13	1.00	389.2	6-D10	0.79	169.3		4-UHD10	0.53	380.6	2.31		4-UHD6 @40	1.07	513
	2-10				2-U9.0	0.34	674.7	4-D10	0.53	211.0		4-U9.0	0.47	381.1	1.34		4-U6.4 @80	0.50	380
	2-11			U-TYPE	3-U9.0	0.50	727.3	6-D10	0.79	196.4	U-TYPE	4-U9.0	0.47	408.2	1.77	U-TYPE	4-U6.4 @60	0.66	464
	2-12				3-U12.6	0.98	411.2	6-D10	0.79	156.0		4-U9.0	0.47	388.1	2.25		4-U6.4 @40	1.00	494
	2-13				2-UHD-10	0.37	780.6	4-D10	0.53	210.3		4-UHD10	0.53	497.4	1.42		4-UHD6 @80	0.53	530
	2-14			H-TYPE	3-UHD-10	0.66	780.6	6-D10	0.79	251.8	H-TYPE	4-UHD10	0.53	505.2	1.87	H-TYPE	4-UHD6 @60	0.71	615
	2-15	60	58.3		3-UHD-13	1.00	487.9	6-D10	0.79	239.6		4-UHD10	0.53	409.1	2.31		4-UHD6 @40	1.07	628
	2-16				2-U9.0	0.34	946.5	4-D10	0.53	288.5		4-U9.0	0.47	456.8	1.34		4-U6.4 @80	0.50	518
	2-17			U-TYPE	3-U9.0	0.50	883.3	6-D10	0.79	263.2	U-TYPE	4-U9.0	0.47	491.5	1.77	U-TYPE	4-U6.4 @60	0.66	645
	2-18				3-U12.6	0.98	525.9	6-D10	0.79	243.4		4-U9.0	0.47	493.6	2.25		4-U6.4 @40	1.00	681

注) 実応力度の算出方法：歪みゲージ実験値×ヤング係数(表-2)　降伏した場合，材料試験の降伏応力度を上限値とする。
材質 ：Y-TYPE　SD295A　*1) σwsL1：L1筋の実応力度　*4)　：L2筋の材質は全てSD295A　pw0L1　：atL1/(bC)
　　 ：H-TYPE　SHD785　*2) σwsL2：L2筋の実応力度　*5) pw0　：pw0L1+pw0L2+pw0S　pw0L2　：atL2/(bC)
　　 ：U-TYPE　SBPD1275/1420　*3) σwsS　：S筋の実応力度　一般部pw耐力からから換算　pw0S　：atS/(bC)

(d=38.25cm)，せん断スパン比 a/D=1.5，孔径 H =15cm(H/D=1/3)であり，主筋には SHD785または SD345焼入材(4+4-D16, pt=1.39%)を用いた。

曲げせん断実験は第1，2シリーズからなり，変動因子は，コンクリート設計基準強度(Fc=24, 36, 42, 60N/mm^{2}の4水準)，開口部せん断補強筋(L1筋，S筋)及び一般部せん断補強筋の材質(SD295A(以下 Y-TYPE), SHD785(以下 H-TYPE), SBPD1275/1420(以下 U-TYPE)N/mm^{2}の3水準)，開口部補強筋比(pw0=1.43, 1.72, 2.32, 2.58%の4水準)とし，試験体総数35体とした。RC梁一般部を大野・荒川 min 式により，開口部を広沢修正式により計算し，ほぼ同等の耐力となるように設計した。

(2)　使用材料

鉄筋の材料試験結果を表-2に，各試験体の実験時のコンクリート圧縮強度を表-1に示す。

(3)　載荷方法

加力は大野式逆対称モーメント式の正負交番繰返し載荷とし，載荷履歴は部材角1/800, 1/400, 1/200(rad)を変形制御で正負1回ずつ繰り返し+4CYCLEで最大耐力を確認した後終了した。

表-2　鋼材の材料試験結果

	材質	呼び名	降伏応力度 N/mm2	降伏歪 μ	ヤング係数 10^4N/mm2	引張強度 N/mm2	破断伸び %
主筋	SHD785	UHD16	788.5	3950	20.2	1054.2	12.03
			788.5	4110	19.3	1068.9	8.99
	SD345 焼入	D16	1053.2	5840	20.0	1110.1	5.98
			1025.8	6470	16.2	1085.6	7.45
せん断補強筋	SD295A Y-TYPE	D6	437.4	2250	19.9	555.1	15.83
			409.9	2240	19.4	532.5	14.15
		D10	360.9	1820	19.6	487.4	23.20
			375.6	1950	19.1	508.0	19.21
		D10'	360.9	1820	19.6	487.4	23.20
			353.0	1890	18.4	492.3	18.48
		D13	341.3	1770	19.3	483.5	28.34
			364.8	1940	18.8	515.8	21.93
	SHD785 H-TYPE	UHD6	721.8	3960	18.5	962.0	10.62
			789.4	4050	19.4	946.3	8.26
		UHD10	843.4	4070	20.7	1064.0	13.76
			780.6	3790	20.9	958.1	12.74
		UHD13	855.1	3970	21.4	1070.9	12.13
			797.2	4050	20.4	990.5	12.34
	SBPD 1275/1420 U-TYPE	U6.4	1298.4	6720	19.2	1426.9	7.43
			1313.1	6960	19.0	1442.6	7.41
		U9.0	1334.7	6860	20.7	1407.3	7.72
			1424.9	7743	18.3	1468.1	6.78
		U12.6	1354.3	6440	21.1	1427.8	8.74
			1337.6	6950	19.2	1449.4	6.45

注)　上段:第1シリーズ　下段:第2シリーズ
歪みは、一方向のゲージを鉄筋の両面に張付けて引張試験を行い平均歪みとし、降伏点が明確でない鋼材は0.2%オフセット法により求めた。

3.　実験結果

(1)　破壊性状

図-3に最終破壊状況の一例を示す。全ての試験体が曲げひび割れ発生後，一般部及び開口部付近にせん断ひび割れが発生し，その後孔上下に発生したせん断ひび割れが加力点方向に進行し，孔に繋がって開口部がせん断破壊することにより最大耐力を迎えた。各試験体は顕著な破壊性状の違いは見受けられなかった。

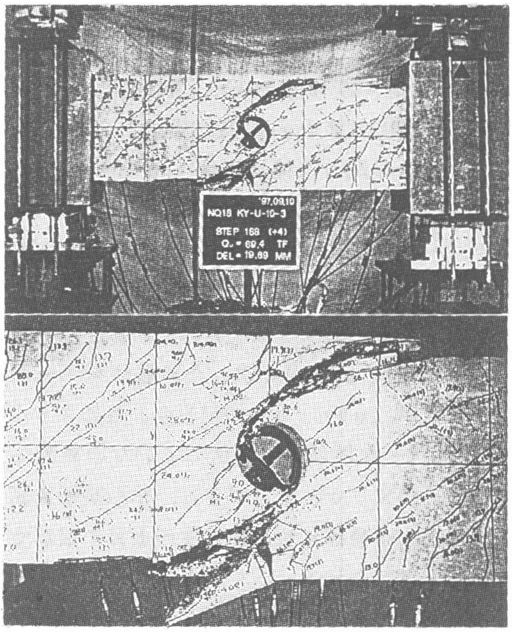

図-3　最終破壊状況写真

(2) 変形性状

図-4～6にせん断力Q-相対変位δ包絡線の変動因子(σB, pw0, σwy)での比較を示す。全ての試験体において，最大耐力以降は急激に耐力低下を起こす結果となり靭性能の無い開口部せん断破壊を示した。図-4は開口部せん断補強筋比pw0が同じでσB が異なる場合の比較である。σB が高くなると剛性及び最大耐力が大きくなっている。次に図-5はσB=58.3N/mm²で pw0が異なる場合の比較である。pw0が大きくなるにつれ，最大耐力及び最大耐力時の変形量が増加する傾向がある。図-6は pw0を一定とし，使用する開口部せん断補強筋(L1筋，S筋)の降伏応力度が異なる場合の比較である。σB=31.9N/mm²では普通鉄筋 Y-TYPE(N02-2)から高強度鉄筋 H-TYPE(N02-5)にあげてもQ-δ関係には違いはなかった。σB=58.3N/mm²では H-TYPE(N02-14)から U-TYPE(N02-17)に上げることにより若干の最大耐力の上昇が見られた。このことより，開口部せん断補強筋の降伏応力度を大きくしても，コンクリート強度の組み合わせにより，降伏応力度を十分に発揮せず，耐力上昇に繋がらない場合があると考えられる。

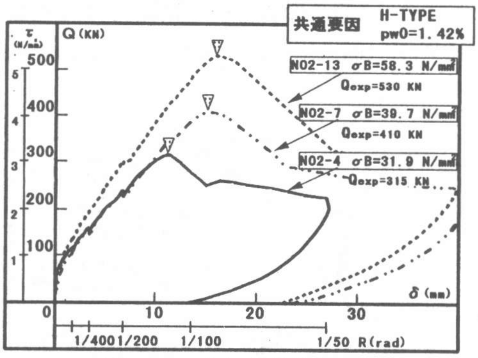

図-4　σBによる比較

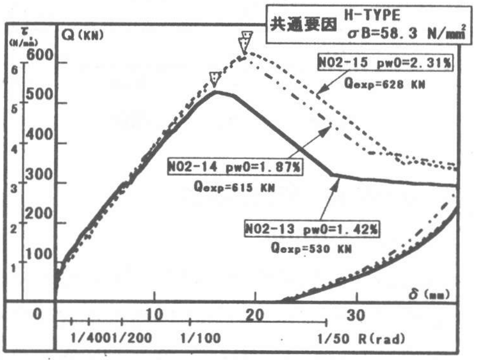

図-5　pw0による比較

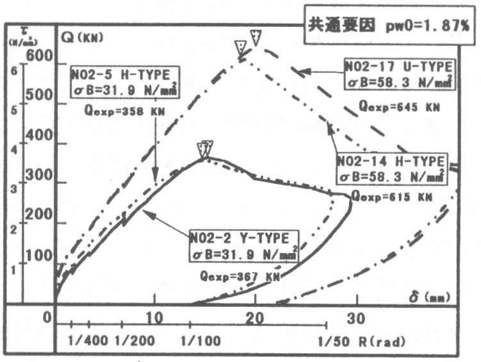

図-6　σwyによる比較

(3)　開口部せん断強度と歪みの関係

図-7に開口部補強筋比 pw0=1.87(%)試験体の開口部せん断強度τexp.(=Qexp./(b･j))(N/mm²)と開口部補強金物 L1筋の歪み量ε(μ)関係の一例を示す。σB=31.9N/mm²の場合では，Y-TYPEのL1筋の歪みは最大耐力時以前に降伏歪みに達しているが，H-TYPE は降伏歪みには達していない。しかし，σB=58.3N/mm²ではσB=31.9N/mm²に比べて最大耐力及びの歪みが大きくなっている。U-TYPEのL1筋の歪みはH-TYPEほぼ等しく，最大耐力もほぼ等しくなっている。

これより L1筋の開口部せん断耐力に対する補強効果はL1筋の降伏応力度とσBの組み合わせにより異なると考えられる。

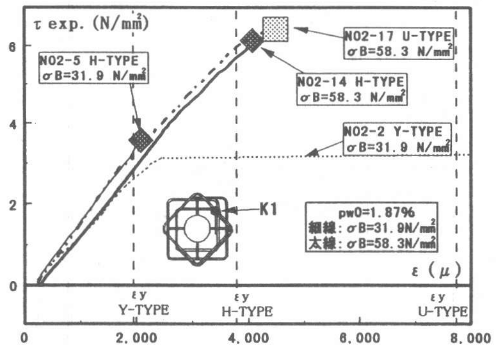

図-7　τ exp. - ε の関係

3．せん断耐力評価の検討

(1) 広沢式との比較

図-8に材料試験結果を用いて，開口部せん断耐力評価式として用いられている広沢式[文献1)]による計算値Qcal.と実験より得られた最大耐力Qexp.との比較を示す。普通強度コンクリートを用いた試験体で比率(Qexp/Qcal)が1.0を若干下回ったが，高強度コンクリートを用いたものは全ての試験体で比率が1.0を上回り安全側となった。コンクリート強度を上げると鉄筋種類に関係なく比率は上昇している。しかし3種類の材質の中で，Y-TYPE(△)が最も高い比率を示し，材質が H-TYPE(○),U-TYPE(□)と高強度になるに従い比率が低下するという傾向が見受けられる。

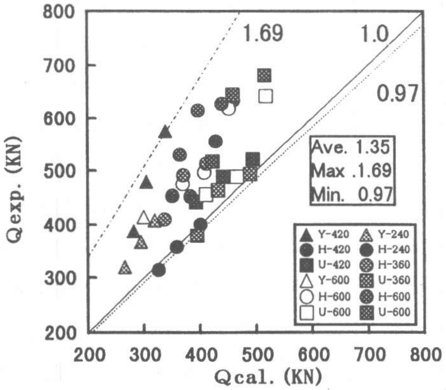

図-8　Qexp.-Qcal.の関係

(2) 開口部せん断強度と開口部補強筋量の関係

図-9,10にせん断強度τexp.と開口部せん断補強筋の降伏応力度及σwy 及び実応力度σws を用いた場合の開口部補強筋量 pw0・σwy, pw0・σws 関係を示す。まず降伏応力度の場合，コンクリート強度レベルごとにせん断強度は上昇している。しかし各レベルごとに pw0・σwy を増加してもせん断強度は上昇しているとは限らない。図中に L1筋が降伏した試験体をマーキングしたが，σwy とσB の組み合わせにより L1筋が降伏した試験体と降伏していない試験体がある。つまりσB を上げると，せん断補強筋の降伏能力を発揮しせん断強度の上昇に繋がっていると考えられる。

次に実応力度の場合，τexp.-pw0・σws の関係は，鉄筋降伏強度及びコンクリート強度に関わらず直線的に比例する傾向が見受けられる。つまり開口部せん断強度は実応力度による補強筋量pw0・σws で評価可能であると言える。

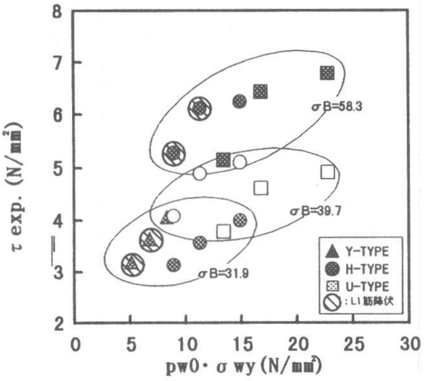

図-9　τexp.-pw0・σwy の関係

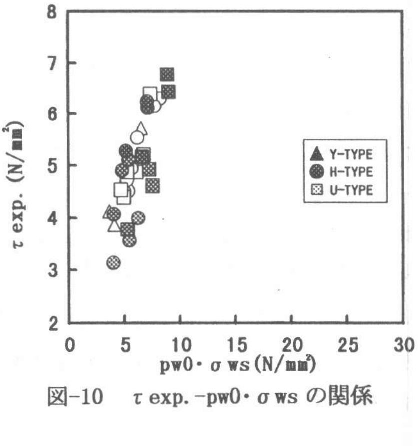

図-10　τexp.-pw0・σws の関係

(3) 開口部せん断耐力の評価

開口部せん断耐力に影響を及ぼす pw0・σwy は，σwy とσB の組み合わせにより，σwy の発揮する能力が異なる。従って，開口部せん断耐力を実応力度を用いた pw0・σws で評価してみることとする。図11～13に L1筋, L2筋, S 筋の実応力度比α (=σws/σwy) と降伏応力度による補強筋量 pw0・σwy/√σB の関係を示す。これは開口部せん断補強筋量とコンクリート強度による補強筋の降伏割合を示したグラフである。ここで pw0・σwy に関して L1筋及び L2筋は金物1枚分の補強筋量 pw0L・σwyL, S 筋は全ての S 筋の補強筋量 pw0S・σwyS とした。

全ての補強筋について pw0・σwy/√σB が大きくなるにつれて，αつまり補強効果係数が減少している。そして，各々の補強筋ごとに減少割合が異なるため補強筋ごとに低減係数αを定めることとした。L2筋はばらついているものの開口部全体に対する L2筋の補強筋量が小さいためα=0.51と一定の値をとることとした。L1筋, S 筋は図10, 13の結果を回帰することにより以下のように定義した。また L1筋は pw0L・σwyL が0.89√σB 以下，S 筋は pw0S・σwyS が0.83√σB 以下で補強筋が降伏するとした。

このようにして開口部せん断補強筋の補強効果を考慮した有効補強筋量 pw0・σws を式(1)に，各補強筋のαを式(2)～(4)に示す。

$$p_{w0}\cdot\sigma_{ws}=n\cdot(\alpha_{L1}\cdot p_{w0L1}\cdot\sigma_{wyL1}+\alpha_{L2}\cdot p_{w0L2}\cdot\sigma_{wyL2})+\alpha_S\cdot p_{w0}S\cdot\sigma_{wy}S \quad \cdots\cdots\cdots (1)$$

αL1：L1筋 ・・・・・・・(2)

・$p_{w0L}\cdot\sigma_{wyL}<0.89\cdot\sqrt{\sigma_B}$の時

$$\alpha_{L1}=\frac{\sigma_{wsL1}}{\sigma_{wyL1}}=0.882\cdot\left(\frac{p_{w0L}\cdot\sigma_{wyL}}{\sqrt{\sigma_B}}\right)^{-1.13}$$

・$p_{w0L}\cdot\sigma_{wyL}\geqq 0.89\cdot\sqrt{\sigma_B}$の時

$$\alpha_{L1}=\frac{\sigma_{wsL1}}{\sigma_{wyL1}}=1$$

αL2：L2筋 ・・・・・・・(3)

$$\alpha_{L2}=\frac{\sigma_{wsL2}}{\sigma_{wyL2}}=0.51$$

αS：S筋 ・・・・・・・(4)

・$p_{w0S}\cdot\sigma_{wyS}<0.83\cdot\sqrt{\sigma_B}$の時

$$\alpha_S=\frac{\sigma_{wsS}}{\sigma_{wyS}}=0.837\cdot\left(\frac{p_{w0S}\cdot\sigma_{wyS}}{\sqrt{\sigma_B}}\right)^{-0.932}$$

・$p_{w0S}\cdot\sigma_{wyS}\geqq 0.83\cdot\sqrt{\sigma_B}$の時

$$\alpha_S=\frac{\sigma_{wsS}}{\sigma_{wyS}}=1$$

$$p_{w0L}\cdot\sigma_{wyL}=p_{w0L1}\cdot\sigma_{wyL1}+p_{w0L2}\cdot\sigma_{wyL2}$$

σ_{ws} ：実応力度，　σ_B ：コンクリート圧縮強度

p_{w0L1} ：L1筋補強筋比，　p_{w0L2} ：L2筋補強筋比

σ_{wyL1} ：L1筋降伏応力度，　σ_{wyL2} ：L2筋降伏応力度

σ_{wyS} ：S 筋降伏応力度，　σ_{wyS} ：S 筋降伏応力度

n　：金物枚数

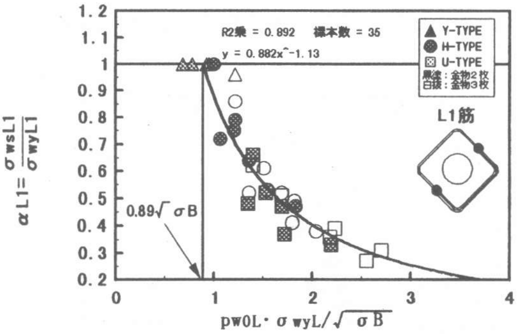

図-11　αL1-pw0L・σwyL/√σB の関係

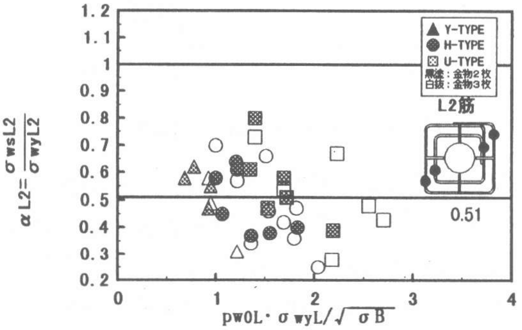

図-12　αL2-pw0L・σwyL/√σB の関係

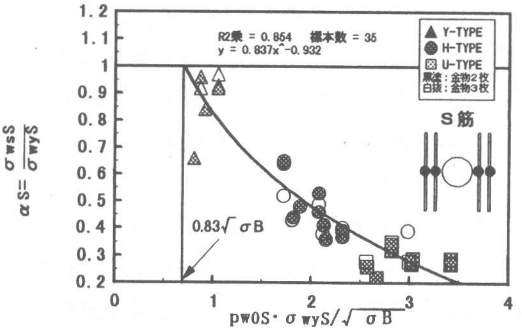

図-13　αS-pw0S・σwyS/√σB の関係

開口部せん断耐力を，広沢式(式(5))の pw・σwy に式(1)により求めた pw0・σws を用いることにより評価してみる。

広沢式

$$Q_{cal.} = \left\{ \frac{0.053 \cdot p_t^{0.23} \cdot (180 + F_c)}{0.12 + a/d} \cdot \left(1 - \frac{1.61 \cdot H}{D}\right) + 2.7\sqrt{p_w \cdot \sigma_{wy}} \right\} \cdot b \cdot j \quad \cdots\cdots (5)$$

図-14に実験値Qexp.と開口部せん断耐力の計算値Qcal.の比較を示す。図中に，有孔梁との比較のため行った高強度コンクリート及び高強度せん断補強筋を用いたＲＣ無孔梁の実験値と大野・荒川 min 式計算値との比較も示す。比率は図-7に示した降伏応力度を用いた計算値との比率のようにばらつきはなく直線的に比例している。

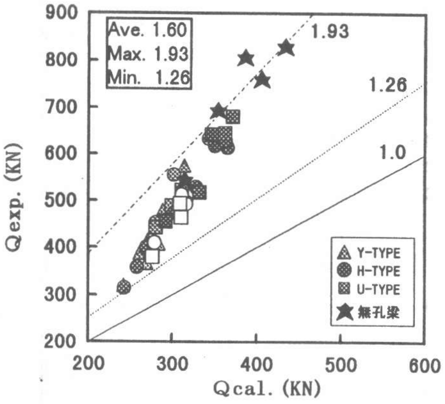

図-14　Qexp.-Qcal. の関係

現行の有孔梁の設計において，日本建築センターコンクリート構造評定委員会では，ＲＣ有孔梁のせん断耐力の評価式による計算値に対する余裕度は，無孔梁の余裕度と同等以上とすることを原則としている[文献2)]。また，有孔梁の評価式に広沢式を用いる場合には，無孔梁の大野・荒川 min 式に対する余裕度が実験データより1.25であることにより，有孔梁についても広沢式に対して1.25以上となるように低減率を乗ずるべきであるとしている。

今回行った無孔梁の試験体の比率を見ると，大野・荒川 min 式の約1.6～2.0倍の余裕度がある。つまり高強度コンクリート及び高強度せん断補強筋を用いるほど大野・荒川 min 式に対する余裕度は高くなることを表している。

こうした無孔梁の余裕度に対し，本論文で提案した実応力度を用いて開孔を有するＲＣ梁のせん断耐力を算定した結果，広沢式による余裕度は普通強度コンクリートでは1.26，高強度コンクリートでは1.93まで上昇し，その値は無孔梁とほぼ同様の値となっている。

このことより高強度材料を用いたＲＣ有孔梁のせん断耐力は，開口部せん断補強筋の補強効果係数を用い広沢式により算定すれば，高強度材料を用いたＲＣ無孔梁の余裕度と同様な余裕度を確保できると思われる。

4．まとめ

(1)高強度コンクリートを用い，高強度せん断補強筋にて補強したＲＣ有孔梁部材において，せん断耐力は広沢式による計算値を上回ることを確認した。また開口部せん断補強筋の降伏応力度が高くなるほど，計算値に対する比率は小さくなる傾向があることが確認された。

(2)開口部せん断補強筋に高強度材料を用いた場合には，降伏応力度に達する以前に開口部せん断破壊することから，せん断耐力はコンクリート強度と開口部せん断補強筋の材料強度の組み合わせにより，開口部有効補強筋量を考慮する必要がある。

(3)高強度材料を用いたＲＣ有孔梁部材のせん断耐力の余裕度は，開口部せん断補強筋の有効補強筋量を用い広沢式により算定すれば，高強度材料を用いたＲＣ無孔梁の余裕度と，同等の余裕度を確保できると思われる。

【謝辞】

本論文をまとめるに当たって，高周波熱錬(株)，北越メタル(株)，(株)コーテックス，(株)横内工業の方々に材料を提供をして頂き，厚く御礼申し上げます。

【参考文献】

1)広沢雅也他：鉄筋コンクリート造有孔ばりのせん断強度とじん性，建築技術，1979，3，4

2)日本建築センターコンクリート構造評定委員会，委員長望月重：鉄筋コンクリート造梁貫通孔補強材の評価について(続)，日本建築センタービルディングレター 1993．10