

論文 鉄筋コンクリート造有孔梁の開孔補強方法に関する研究

三澤 智史^{*1}・香取 慶一^{*2}・三橋 博巳^{*3}・高木 仁之^{*4}

要旨：本研究は，鉄筋コンクリート造有孔梁の開孔補強において施工性のよい開孔補強筋の補強効果を確認するために行った。全ての試験体において開孔補強筋は降伏強度が 785 N/mm² の高強度鉄筋を使用しており，主な変動要因は，コンクリート強度，開孔補強筋径，開孔補強筋の枚数とした。その結果，高強度鉄筋による普通強度コンクリートの有孔梁の開孔補強においては他の試験体と比べて修正広沢式の計算値に対する実験値の比率が小さく，また補強筋量を増やすほどにはその分せん断終局強度が上がらない，などの結果を得た。

キーワード：有孔梁，開孔補強筋，修正広沢式，補強筋量

1. はじめに

わが国では鉄筋コンクリート構造物の階高をおさえるために梁に設備配管用の貫通孔が設けられている。そのため梁の貫通孔に対する耐震性能の低下によりその開孔補強方法として古くはあばら筋や斜め筋による補強が推奨されていた。しかしこの方法は施工性が困難なため，工場生産による開孔補強筋が開発され使用されている。そして近年，高強度材料の有効利用のためコンクリートやせん断補強筋に高強度のものが使用されるようになってきた。これまでコンクリート強度やせん断補強筋に普通強度のものをを用いた実験は多くされているが，高強度のものをを用いた実験はあまり行われていない。

このため，本研究では高強度材料における開孔部のせん断補強効果を調べるため，全ての試験体において開孔補強筋に高強度鉄筋を用い，コンクリート，あばら筋の強度には普通強度のものから高強度のものまで各種組み合わせ実験を行った。

2. 実験概要

2.1 開孔補強筋

本研究で使用した開孔補強筋は 785 N/mm² 級

の高強度鋼材を一筆書き型に曲げ加工したもので，開孔部の斜めひび割れに対して直交するように配置された形状となっている。鉄筋径は 6，8，10mm の 3 種類，形状は環数が 2 リングと 3 リングの 2 種類を使用した。孔周囲のせん断終局強度に有効な補強筋は補強金物と図 - 1 に示すような補強金物を囲む範囲内に位置するあばら筋である。

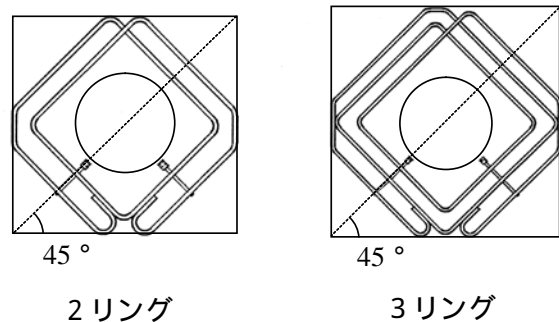


図 - 1 有効補強範囲

*1 明治大学 理工学部建築学科 (正会員)

*2 東京工業大学助手 建築物理研究センター 工博 (正会員)

*3 日本大学教授 理工学部建築学科 工博 (正会員)

*4 明治大学助教授 理工学部建築学科 工博 (正会員)

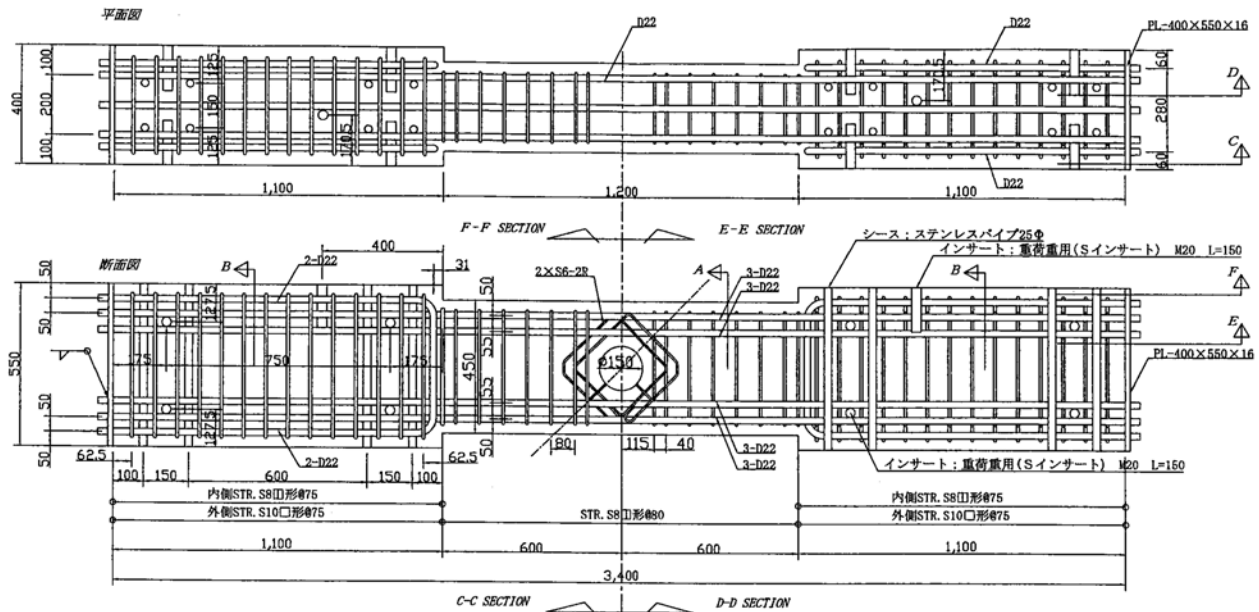


図 - 2 試験体形状(No.3)

Unit:mm

表 - 1 試験体一覧

No.	梁幅 b (mm)	梁せい D (mm)	開孔径 H (mm)	試験体区間 L ₀ (mm)	せん断スパン比 M/Qd	コンクリート設計基準強度 F _c (N/mm ²)	あばら筋			開孔補強筋				
							径 (mm)	降伏強度 (N/mm ²)	開孔部補強筋比 s _P W ₀	径 (mm)	環数	枚数	降伏強度 (N/mm ²)	開孔部補強筋比 w _P W ₀
1	350	750	250	1800	1.37	27	13	295	0.0070	10	3	2	785	0.0056
2	300	450	150	1200	1.61	60	13	295	0.0145	8	2	3	785	0.0080
3	300	450	150	1200	1.61	27	8	785	0.0057	6	2	2	785	0.0034
4	300	450	150	1200	1.61	27	8	785	0.0057	8	2	2	785	0.0053
5	300	450	150	1200	1.61	45	13	685	0.0145	10	2	3	785	0.0115
6	300	450	150	1200	1.61	60	13	685	0.0145	10	2	3	785	0.0115
7	300	450	150	1200	1.61	60	11	1275	0.0103	10	2	2	785	0.0077
8	300	450	150	1200	1.61	80	11	1275	0.0103	10	2	3	785	0.0115

表 - 2 コンクリートの材料特性

F _c (N/mm ²)	試験体	圧縮強度 (N/mm ²)	割裂強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (× 10 ⁴ N/mm ²)
27	No.1,3,4	32.5	1.85	2.25
45	No.5	55.8	4.53	2.58
60	No.2,6,7	78.2	4.46	2.89
80	No.8	93.4	6.15	2.78

表 - 3 鉄筋の材料特性

用途	種類	径 (mm)	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (× 10 ⁵ N/mm ²)
主筋	SD490	22	549	796	1.88
	SD295	13	323	481	1.82
	685N級	13	723	958	1.94
	785N級	8	948	981	1.88
	1275N級	10.7	1364	1617	1.93
開孔補強筋	785N級	6	924	1153	1.89
		8	912	1087	1.88
		10	775	943	1.79

2.2 試験体

試験体一覧を表 - 1, 試験体の形状・寸法を図 - 2 に示す。No. 1 の試験体は梁幅 b=350mm, 梁せい D=750mm として他は全て梁幅 b=300mm, 梁せい D=450mm とした。いずれの試験体も曲げ降伏に先行してせん断破壊が生じるようにした。また主筋は付着割裂を防ぐために2段配筋とした。

2.3 加力方法

加力方法を図 - 3 に示す。加力は建研式加力とし, 正負の繰り返し载荷を変位制御でおこな

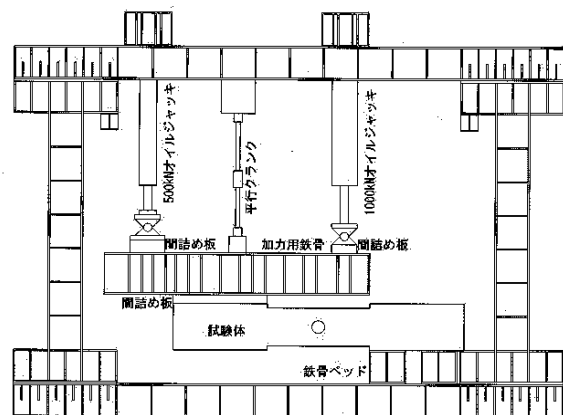


図 - 3 加力装置

った。制御は部材角 1/1000 ,1/500 ,1/200 ,1/100 , 1/50 で正負一回繰り返し荷重を行った後、最大耐力を確認するまで加力を行った。鉄筋のひずみは、主筋、せん断補強筋および開孔補強筋について測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 破壊性状

各試験体の最終破壊状況を図 - 4 に示す。いずれの試験体も最初に曲げひび割れが発生し、その次に開孔の中心を 45 度に通るような孔部対角ひび割れが発生し、最終的には孔部の接線方向を通るような孔部接線ひび割れが拡大して破壊するせん断破壊となった。いずれの試験体も比較的分散したひび割れが入ったが No.3,4 の荷重開始から最終破壊にいたるまで他の試験体と比べてひび割れ本線が少なかった。またコンクリート強度がそれぞれ 27,45,60,80 N/mm² の試験体 No.3,5,6,8 を比較するとコンクリート強度が高くなるほどひび割れが多くなると考えられる。

3.2 強度性状

実験結果を表 - 4 に、各試験体の計算値と実験値との関係を示したものを図 - 5 に、せん断力 - 変形関係を図 - 6 に示す。試験区間に対する垂直変位の比を部材角とした。計算値には修正広沢式 (1) を用いた。全ての試験体の計算値に対する実験値は 1 倍以上となり修正広沢式で安全側に評価可能となった。特に No.2 の計算

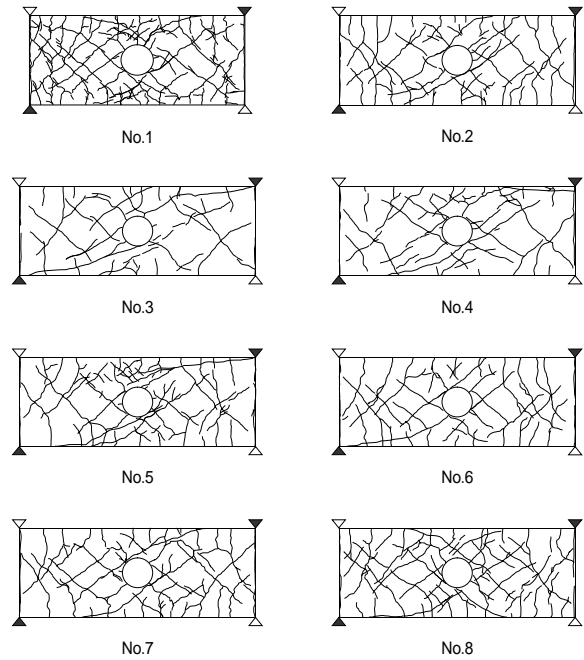


図 - 4 最終破壊状態

表 - 4 実験結果

No.	実験値	計算値	実験値 / 計算値
	最大荷重 τ _{Q_M} (kN)	最大荷重 c _{Q_M} (1) (kN)	
1	719.3	603.8	1.19
2	689.9	442.8	1.56
3	402.8	323.6	1.24
4	386.1	346.4	1.11
5	603.7	485.4	1.24
6	736.0	520.6	1.41
7	643.9	526.3	1.22
8	762.4	578.3	1.32

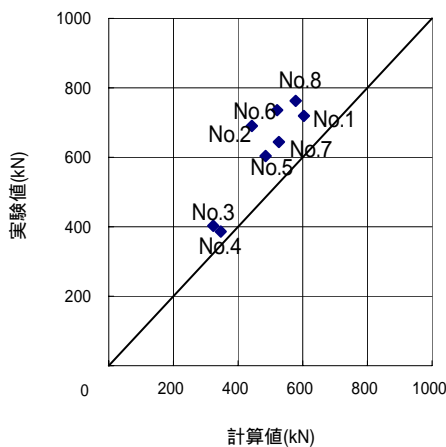


図 - 5 実験値と計算値の比較

$$cQ_M = \left\{ \frac{0.053P_t^{0.023}(F_c + 18)}{M/(Q \cdot d) + 0.12} \left(1 - \frac{1.6FH}{D}\right) + 0.85\sqrt{wP_{w0}w_y + sP_{w0}s_y} \right\} b \cdot j$$

記号>

τ_{Q_M}:せん断終局強度実験値(N/mm²)

c_{Q_M}:せん断終局強度計算値(N/mm²)

P_t:引張鉄筋比(%)

F_c:コンクリート強度(N/mm²) M/Qd:せん断スパン比

H:開孔径(mm) D:梁せい(mm) b:梁幅(mm)

j:応力中心間距離(mm) w_{P_{w0}}:開孔補強筋の補強筋比

w_y:開孔補強筋の降伏強度(N/mm²)

s_{P_{w0}}:補強有効範囲内のあばら筋比

s_y:補強有効範囲内のあばら筋の降伏強度(N/mm²)

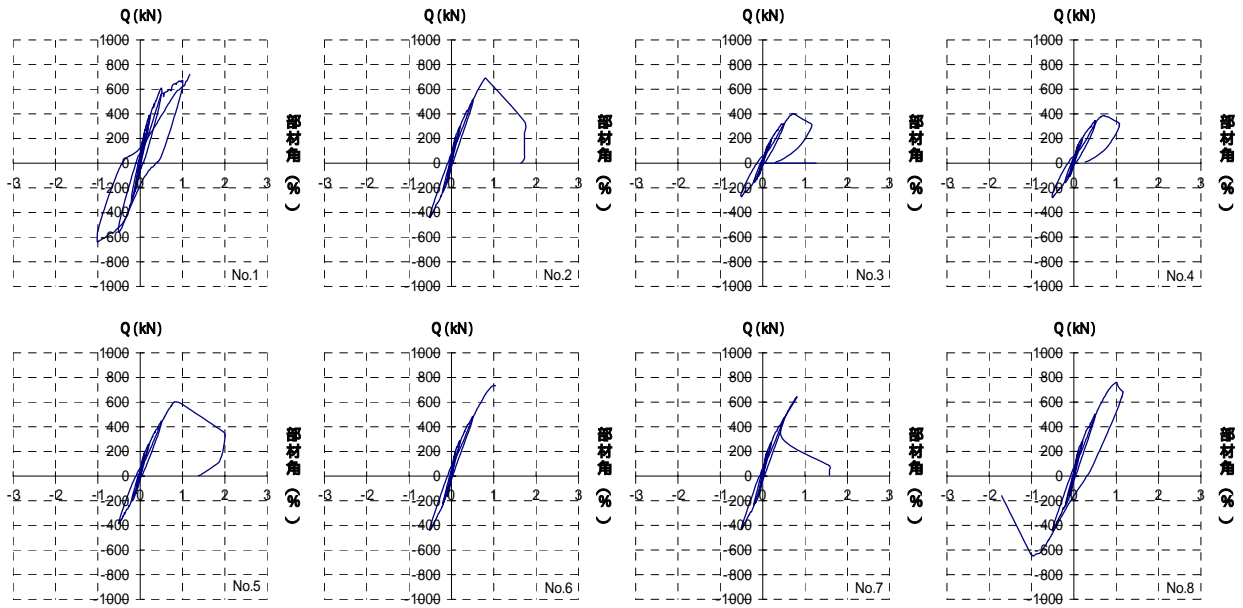


図 - 6 せん断力 - 変形関係

値に対する実験値は 1.56 倍と大きな値をとった。そして No.3 と No.4 では開孔補強筋の径のみが違い No.4 の方が太径で計算値も大きいにも関わらず、No.3 の方が大きな実験値となった。また同じコンクリート強度 60N/mm^2 の No.2,6,7 は修正広沢式で安全側に評価可能であるが、No.7 にはあばら筋に降伏強度 1617N/mm^2 のものを使用しており計算値はこの 3 体のうちで一番大きいにも関わらず、実験値が一番低かった。

3.3 開孔補強筋のひずみ

例として No.2 の開孔補強筋のひずみ分布について各サイクルの変位のピーク時の状態をそれぞれとったものを図 - 7 に示す。ひずみゲージの位置については図 - 8 に示す。全ての試験体において最大ひずみは降伏ひずみ約 5000μ の $1/3 \sim 1/2$ 程度となった。また正載荷時のときは W1 ~ 4 が、負載荷時のときは W5 ~ 8 のひずみが大きくなっている。この理由は、正載荷時には孔周囲の W1 ~ 4 の位置に対応した部分にひび割れが入り、逆に負載荷時には W5 ~ 8 の位置に対応した部分にひび割れが入るためだと考えられる。

このことから開孔補強筋は孔周囲のひび割れに対して有効に補強効果が発揮されていると考えられる。そして正載荷時には W3，負載荷時には W7 も大きな値をとったが、この理由は開

図中の(+ 2 : 517)は + 2 サイクルの
Q = 517kN の時の意味

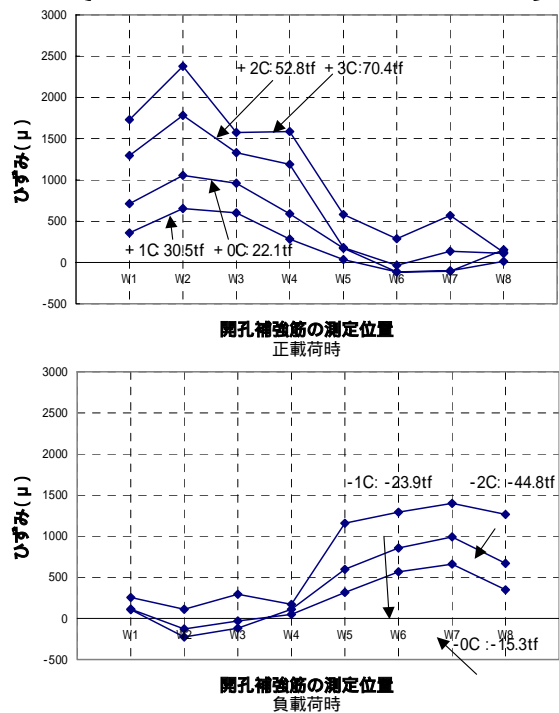


図 - 7 開孔補強筋の歪分布 (No.2)

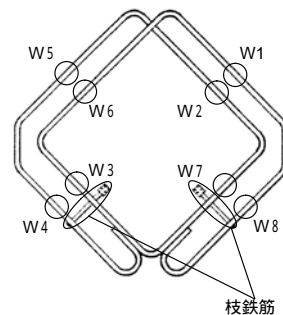


図 - 8 開孔補強筋の歪ゲージ位置

孔用ボイド管を固定するために W 3, 4, 7, 8 付近に溶接されている枝鉄筋により開孔補強筋の軸方向変形が拘束されてしまいひずみがもどらなくなってしまったためだと考えられる。

計算値に対する実験値の比率が大きい No.2 は、他の試験体と比べて開孔補強筋のひずみはわずかであるが大きいものとなった。普通強度のコンクリートを用いている No.3 と 4 は、他の試験体と比べて最大ひずみが 1000 μ 程度となり小さい値をとったことからあまり開孔補強筋の補強効果は得られなかった。また No.3 と 4 を比較して、顕著な差はみられなかった。よって普通強度のコンクリートと高強度のあばら筋という材料強度の組み合わせにおいて開孔補強筋の径を大きくしても補強効果は上がらないことが考えられる。

3.4 補強筋量についての検討

実際の鉄筋のひずみの最大値から鉄筋の応力

度を算出し、その応力度と補強筋比を乗じたものと、せん断終局強度の関係を図に示す。あばら筋と開孔補強筋の場合についてそれぞれ図 - 9, 10 に示す。この 2 つの図に示した、開孔補強筋の径だけが違う、すなわち補強筋量だけが違う 2 つの試験体では、開孔補強筋の補強量が増えてもせん断終局強度はあまり変わらない。

次にコンクリート強度の影響を取り除くため、せん断終局強度をコンクリート強度の平方根で除した値を用いて、補強筋量と比較したものを、あばら筋と開孔補強筋についてそれぞれ図 - 11, 12 に示す。図に示すようにあばら筋では約 4.5 N/mm^2 、開孔補強筋では約 3.5 N/mm^2 が上限値と考えられる。

次に図 - 11, 12 のあばら筋と開孔補強筋の補強筋量を合計したものを図 - 13 に示す。図に示すようにあばら筋と開孔補強筋の合計したものは約 8 N/mm^2 が上限値と考えられる。

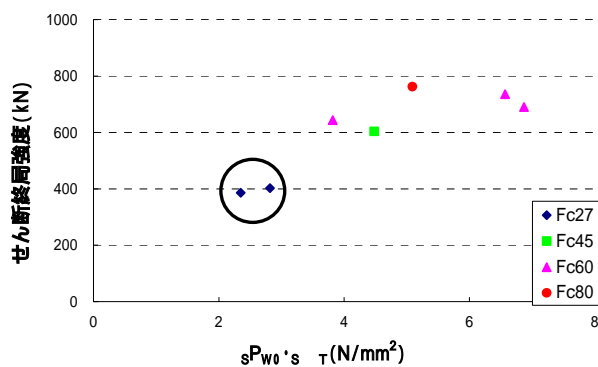


図 - 9 あばら筋の補強筋量とせん断終局強度の関係

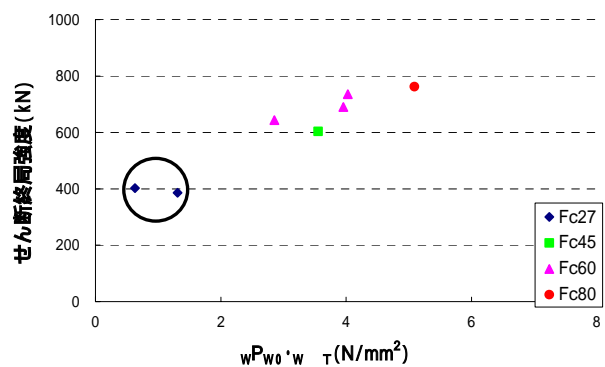


図 - 10 開孔補強筋の補強筋量とせん断終局強度の関係

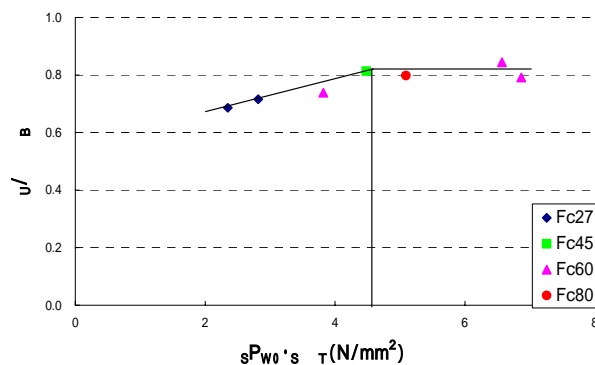


図 - 11 あばら筋の補強筋量と U/B の関係

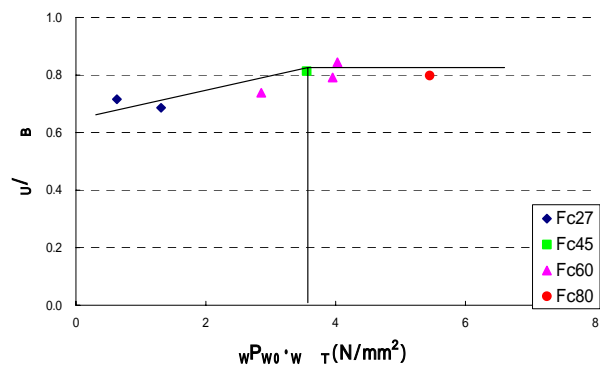


図 - 12 開孔補強筋の補強筋量と U/B の関係

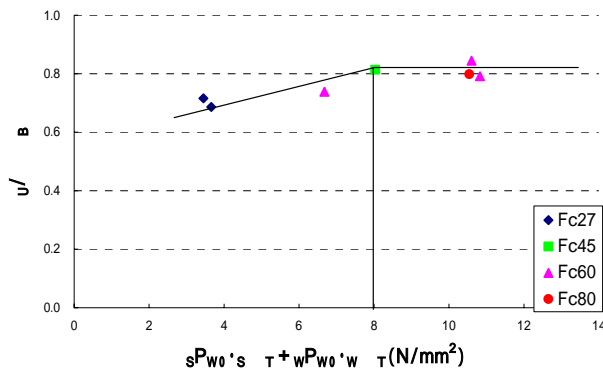


図 - 13 あばら筋と開孔補強筋の補強筋量の和と u/B の関係

記号

- sP_{w0} : あばら筋の補強筋比
- wP_{w0} : 開孔補強筋の補強筋比
- s_{τ} : あばら筋の引張応力度(N/mm²)
- w_{τ} : 開孔補強筋の引張応力度(N/mm²)
- u : せん断終局応力度(N/mm²)
- B : コンクリート強度(N/mm²)

4. まとめ

全試験体 8 体による実験結果のまとめを以下に述べる。

- (1) 全ての試験体が孔部接線ひび割れの拡大によりせん断破壊した。
- (2) 全ての試験体の計算値に対する実験値は 1 倍以上となり修正広沢式で安全側に評価可能となった。
- (3) 開孔補強筋は孔部周辺のひび割れに対して有効に補強されていることが確認できた。
- (4) 普通強度のコンクリートと高強度のあばら筋という材料強度の組み合わせにおいて、開孔補強筋の径を大きくしてもその補強効果は上がらなかった。
- (5) 開孔補強に有効な補強筋量の上限值はあばら筋と開孔補強筋でそれぞれ 4.5 N/mm² , 3.5 N/mm² 程度と考えられる。
- (6) あばら筋と開孔補強筋の補強筋量を合計したものの上限値は、約 8 N/mm² と考えられる。

謝辞

テイエム技研(株)の田所修氏には実験にご協力いただきました。この研究は東京工業大学 建築物理研究センター 共同利用研究の一環です。深く感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 広沢雅也ほか：鉄筋コンクリート造有孔梁の設計方法に関する総合的な検討，財団法人日本建築センター，1994
日本建築学会鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，1999
- (3) 三橋博巳，林静雄，清水泰，香取慶一，田所修：高強度鉄筋コンクリート有孔梁の開孔補強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.353-354，2001.9
- (4) 大塚弘：高強度 RC 有孔梁の小型試験体によるせん断実験、コンクリート工学年次論文報告集、第 17 巻 2 号、1994pp365-370
- (5) 前口剛洋、出光隆、山崎竹博、渡辺明：RC 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報告集、第 23 巻 3 号、2001pp271-276
- (6) 山本俊彦、豊田将文：高強度開孔補強金物を用いた鉄筋コンクリート造有孔梁のせん断耐力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 17 巻 2 号、1995pp625-630
- (7) 清水泰、李正浩：鉄筋コンクリート造有孔梁のせん断耐力評価式に関する検討、コンクリート工学年次論文報告集、第 15 巻 2 号、1993pp311-316
- (8) 三橋博巳、広沢雅也、清水泰：高強度コンクリートを用いた RC 造有孔梁のせん断補強方法、コンクリート工学年次論文報告集、第 15 巻 2 号、1993pp731-736