

論文 鉄筋コンクリート有孔梁のせん断補強法に関する研究

岸田慎司*1・牛垣和正*1・杉浦泰樹*1・林静雄*2

要旨：孔周囲の斜めひび割れによるせん断破壊を防止する為には効果の良い開孔部簡易補強材が必要となる。今日、種々な補強方法がある中で、補強材の構成されている、斜筋・リング筋・縦（水平）筋等がせん断強度に及ぼすメカニズムを明確にする為には、孔際あばら筋量や補強材量がせん断強度に及ぼす影響について検討した。その結果、簡易補強材が無く、孔際あばら筋のみの補強は効果が大きく、これに補強材を組合せると耐力上昇が小さくなってしまふ。補強方法別に見ると、斜筋と水平筋を組合せたものが耐力上昇が大きく、次はリング筋と斜筋と縦筋を組合せた補強材であった。

キーワード：鉄筋コンクリート造有孔梁、開孔部せん断補強法、簡易補強材、せん断耐力

1. はじめに

近年、中高層鉄筋コンクリート造建築物では、梁には設備配管用の梁貫通孔を設けることが多く、孔の存在は地震時に期待される梁の耐力や変形性能を低下させるため問題となる。そのため、開孔部周辺に有効な開孔補強を施し、無開孔梁と同様の性能が得られるようにするのが設計上必要となる。

開孔周辺のせん断補強方法としては、今日までに種々な方法が提案され、用いられてきた [1]。特に最近では簡易補強材を用いた開孔部補強方法が、多くの現場で使用されている。これらの補強方法は、施工性の改善や簡易補強材が工場生産品のため品質が均一となること、特殊技能者を必要としないといったことが利点として挙げられるからである。

一方、構造上の諸問題に関しては、その耐震性能上必要となる事柄について数多くの実験研究が行われ、平成6年5月の段階で13社が日本建築センターの評価を受けている [2]。しかし、これらの簡易補強材は、斜筋・リング筋・縦（水平）筋がどのようにせん断応力に影響するのか、メカニズムが不明のまま使用されているのが現状である。

本論文では、既往の実験資料を用いて、金物の量や孔際あばら筋量とせん断強度の関係から、種々の金物がどのように機能するのかを考察する。

2. 使用した試験体の分類

現在までに鉄筋コンクリート造有孔梁に関して行われた実験研究は数多くあり、試験体数も数多くある。本研究では実験資料(文献 [1] ~ [31])のうち、簡易補強材(金物)を用いて補強した鉄筋コンクリート造有孔梁のせん断実験を行ったものについて検討した。また、資料収集を行う際に以下に示す条件に適合した試験体のみを採用した [3]。

①鉄筋コンクリート造有孔梁で孔数は1個の試験体

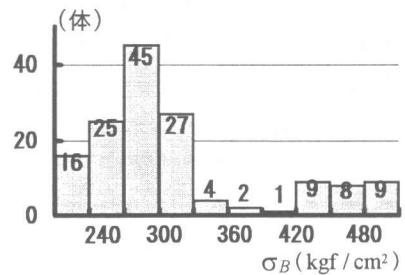


図1 コンクリート強度の分布

*1 東京工業大学大学院 総合理工学研究科環境物理工学専攻、(正会員)

*2 東京工業大学 工業材料研究所 教授、工博(正会員)

- ②開孔形状が円形開孔の試験体
 - ③開孔位置が部材中央(材軸方向)の試験体
 - ④開孔径比が1/3以下の試験体
 - ⑤長方形断面梁の試験体
 - ⑥補強方法に鋼管、鋼板が使用されていない試験体
- 以上の条件に適合した試験体は、総数146体であった。

2. 1 既往の実験資料の分析

本研究で使用した試験体は、1993年までに我が国で実験され、論文中に必要データが明示されたものである。解析に用いた試験体がどのような条件下で得られたものであるかを把握する為に、補強効果に影響すると考えられる諸因子に関する分類を行う。図は縦軸に試験体数を採り、横軸に各因子の値を採って示したものである。

2. 1. 1 使用材料

試験体の製作に用いられている使用材料に関しては、コンクリート圧縮強度、梁主筋降伏強度、あばら筋降伏強度、開孔部補強筋降伏強度等があるが、ここではコンクリート圧縮強度と梁主筋降伏強度について示す。

コンクリート圧縮強度の分布を表した図1を見ると、200~300kgf/cm²の試験体数が86体と多くなっている。又、420kgf/cm²以上の試験体も26体となっており、高強度のコンクリートが使われている。一方、200kgf/cm²を下回る試験体は一体もなかった。尚、最大値は1218kgf/cm²で、最小値は217kgf/cm²となっている。

図2は梁主筋降伏強度の分布を示したもので、せん断破壊指向型で試験体が設計されていることもあって、梁主筋の降伏強度が高強度の鉄筋が使用されている試験体が多く、4000kgf/cm²は53体で、残りは7000kgf/cm²以上である。8500~9500kgf/cm²が41体、10000kgf/cm²以上の試験体が20体あった。尚、最大値は12000kgf/cm²、最小値は3590kgf/cm²となっている。

2. 1. 2 試験体形状

試験体形状に関しては、スパン比(M/Qd)、全せい(D)、開孔の大きさについて検討した。

図3のスパン比の分布を見ると、ほとんどの試験体が1.67以上であるが、1.5以下の試験体が58体あり、せん断力に対して厳しい条件のものがある。

グラフには示さなかったが、梁せい(D)については最大値90cm、最小値40cmとなっていて、45cm以上の試験体が127体で全体の87%を占め、実物大に近い試験体を実験

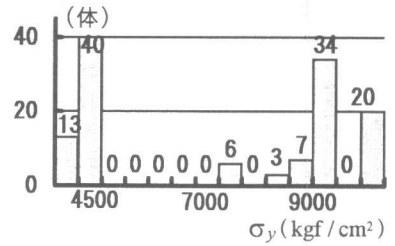


図2 梁主筋降伏強度の分布

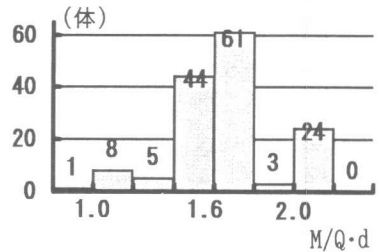


図3 スパン比の分布

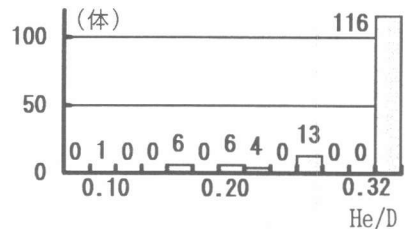


図4 孔径比の分布

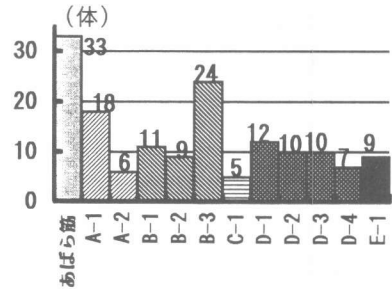


図5 開孔部せん断補強法の分布

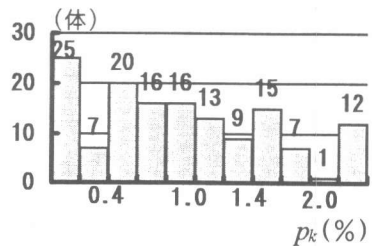


図6 開孔部補強材比の分布

しているのでスケール効果は小さいと考えられる。

図4は、開孔の大きさの梁全せいに対する比 (H_e/D) について示している。全体の79%が0.333で、最小値は0.109である。

2. 1. 3 開孔部の補強方法

現在日本建築学会で評価を受け日本建築学会大会やJCIで発表されている補強法は、大きく分けるとリング筋型 (A-1・A-2) ・斜筋型 (B-1・B-2・B-3) ・混合型の3つになり、更に混合型が、リング筋+斜筋型 (C-1) ・斜筋+縦 (水平) 筋型 (D-1・D-2・D-3・D-4) ・リング筋+斜筋+縦 (水平) 筋型 (E-1) の3つに分類される。

図5を見ると、孔際あばら筋に斜筋を組合せた試験体が44体と最も多かった。一方孔際あばら筋のみによる補強を行い、簡易補強材を使用していない試験体が33体あるが、これは簡易補強材と関連のある論文から引用したために多くなっている。孔際あばら筋にリング筋と斜筋を組合せた試験体が少ないが全体として種々な方法が実験研究されている。

2. 1. 4 開孔部補強筋量

次に、開孔部補強筋量の分布を示す。開孔部の補強筋量は、[4]に掲載されている式を利用して算出した。尚、孔際あばら筋比 (p_s)、補強材比 (p_k) がある。

$$p_{s,k} = \sum a_{s,k} (\sin \theta + \cos \theta) / (b \cdot C)$$

ここで、 C は開孔部補強筋の有効範囲である。尚、 $p_{s,k}$ を算定する際に、開孔部のせん断補強筋として有効に働くと考えられる有効補強筋の選定条件として以下の事項を考慮した。

- ①開孔部補強筋の有効範囲内にあつて、開孔部斜め45度方向の線と交わる縦筋、斜筋 (傾斜角 θ を考慮)、水平筋等全ての鉄筋を考慮する。水平筋の場合、 $\theta = 0^\circ$ 、縦筋は $\theta = 90^\circ$ と考える。
- ②開孔部斜め45度方向の線と主筋とが交わる点で開孔部斜め45度方向の線と交わる補強筋は考慮しないが、読取りの不明なものは論文の記載に従った。
- ③リング筋は45度方向の斜筋として算定する。
- ④開孔位置が梁せいの上方向にずれている試験体では、補強筋量を上下の厳しい方 ($p_{s,k}$ の小さい方) の値を用いる。

図6は横軸を補強材比、縦軸を試験体数とした。最小の p_k は0.17%でこれは高強度で細い鉄筋を使用している。最大値は4.17%でこれは太い鉄筋を使用した補強材を4枚入れている。全体として見ると補強材使用量はほぼ全般にわたっている。尚、0%のものが24体あった。

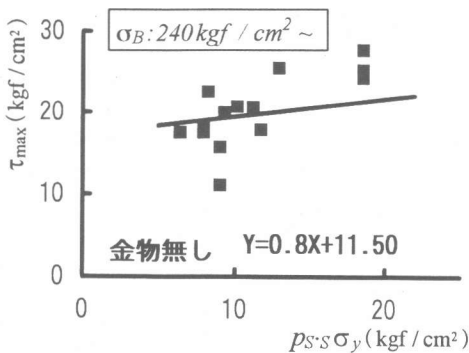


図7 孔際あばら筋量とせん断強度の関係

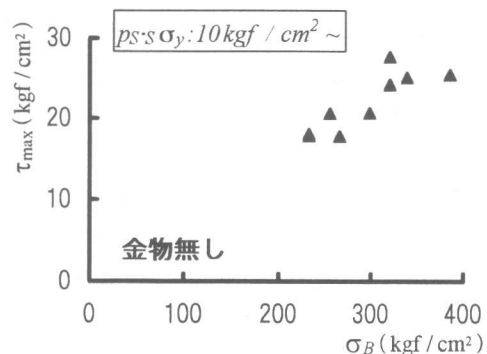


図8 コンクリート強度とせん断強度の関係

3. 種々の簡易補強材を使用した場合の考察

各々の簡易補強材の効果を把握するのに最小二乗法で求めた直線の傾きを使用する。

3. 1 孔際あばら筋型

図7はコンクリート圧縮強度 σ_B が240kgf/cm²以上の開孔部に簡易補強材がなく孔際あばら筋のみで補強された試験体で、せん断強度(τ_{max})と孔際あばら筋比とその降伏強度の積($p_{S'S}\sigma_y$)の関係を示す。これを見ると、 $p_{S'S}\sigma_y$ が増加するにつれてせん断強度が直線的に増加して、孔際あばら筋が有効に働いているのが解る。図8は、 $p_{S'S}\sigma_y$ が10kgf/cm²以上の試験体について、横軸をコンクリート圧縮強度 σ_B に採ったものである。コンクリート圧縮強度が240kgf/cm²以上で直線的にせん断強度が増加しており、350kgf/cm²を越えると頭打ちになるように見えるが、400kgf/cm²以上の試験体数が少ない為、その後がどうなっているのか判断できない。グラフには示していないが、 $p_{S'S}\sigma_y$ が10kgf/cm²以下ではコンクリート強度の影響は見られず、コンクリート強度がせん断応力度に有効に働くには $p_{S'S}\sigma_y$ が10kgf/cm²以上必要であろう。

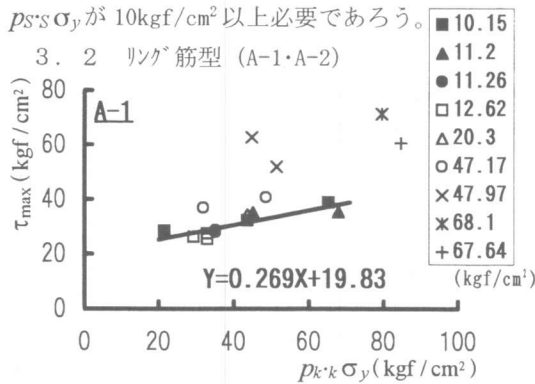


図9 $p_{k'k}\sigma_y$ (リング筋) - τ_{max} の関係

上図は、最大せん断応力度(τ_{max})と補強材量と補強材の降伏強度の積($p_{k'k}\sigma_y$)の関係を示す。尚、これより以下の図中の記号は孔際あばら筋比とその降伏強度の積($p_{S'S}\sigma_y$)を示す。図9と図10はリング筋の補強材である。図9で $p_{S'S}\sigma_y$ が小さい試験体とグラフ中×印で示された $p_{S'S}\sigma_y$ が大きい試験体とでは、せん断強度に対する補強量の効果が違い、孔際あばら筋量が多くなるとせん断強度も大きくなる。A-1とA-2では、A-1の補強材の方が傾きが大きいことから効果が大きいといえよう。

3. 3 斜筋型 (B-1・B-2・B-3)

図11より、孔際あばら筋量 $p_{S'S}\sigma_y$ が多いと強度が大きくなるが、補強材 $p_{k'k}\sigma_y$ の増加に対して強度はそれ程上昇していない。図12は、補強材を多くすることによって、強度は大きくなっているが、補強材の量が

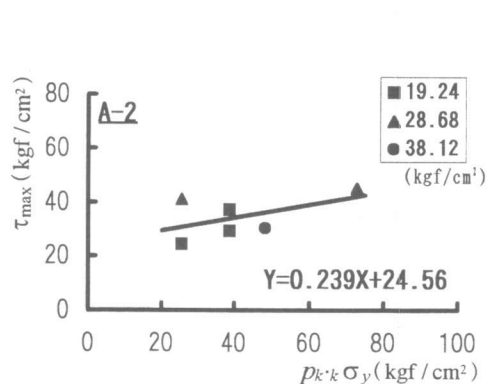


図10 $p_{k'k}\sigma_y$ (リング筋) - τ_{max} の関係

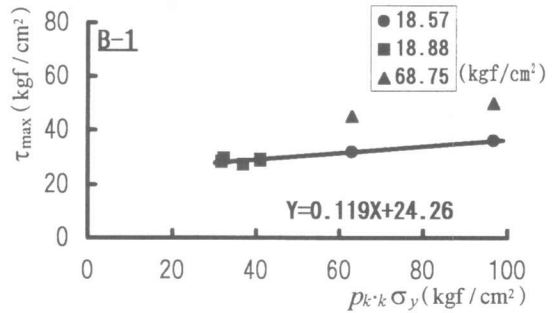


図11 $p_{k'k}\sigma_y$ (斜筋) - τ_{max} の関係

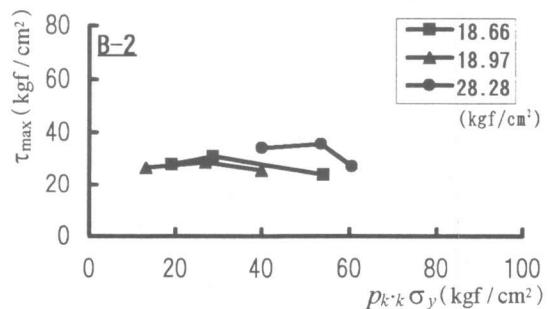


図12 $p_{k'k}\sigma_y$ (斜筋) - τ_{max} の関係

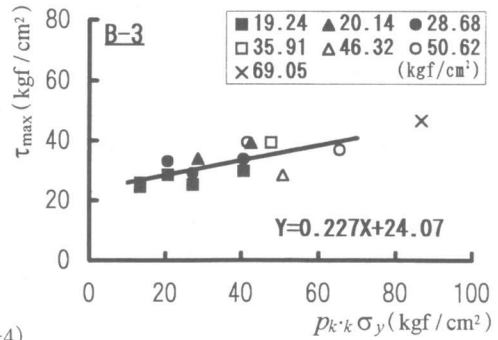
多過ぎると逆に強度が落ちている。孔際あばら筋と補強材の量のバランスによっては耐力が落ちてしまう場合がある。

図 13 は、 $p_k \cdot k \sigma_y$ が 100 kgf/cm^2 以上になると最大せん断応力度 τ_{\max} は一定となっている。

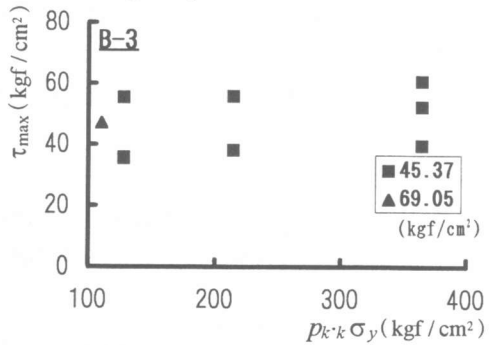
100 kgf/cm^2 以下では $p_k \cdot k \sigma_y$ の増加と共に、そして、 $p_s \cdot s \sigma_y$ の増加と共に強度が上がっている。3 つの中では B-3 が効果を出せる。

3. 4 斜筋+縦 (水平) 筋型 (D-1・D-2・D-3・D-4)

図 14 は、補強材に高強度鉄筋を使用しており、 $p_s \cdot s \sigma_y$ の増加に伴って強度は増加しているが、 $p_k \cdot k \sigma_y$ の増加に伴う強度の増加は小さく、例えば、 $p_s \cdot s \sigma_y = 17.64 \text{ kgf/cm}^2$ のときなどは、補強材 $p_k \cdot k \sigma_y$ が増加しても強度は上昇していない。この傾向は図 13-(b) にも見られる。この補強材の場合、孔際あばら筋量が強度に影響している。図 15 は、 $p_k \cdot k \sigma_y$ の値が同一の試験体のため、傾向がつかめない。図 16 は、 $p_s \cdot s \sigma_y$ を 20、30、40 kgf/cm^2 と変化させても強度は同じ値で、 $p_k \cdot k \sigma_y$ の増加によって強度が大きくなっている。



(a) $p_k \cdot k \sigma_y = 100 \text{ kgf/cm}^2$ 以下の時



(b) $p_k \cdot k \sigma_y = 100 \text{ kgf/cm}^2$ 以上の時

図 13 $p_k \cdot k \sigma_y$ (斜筋) - τ_{\max} の関係

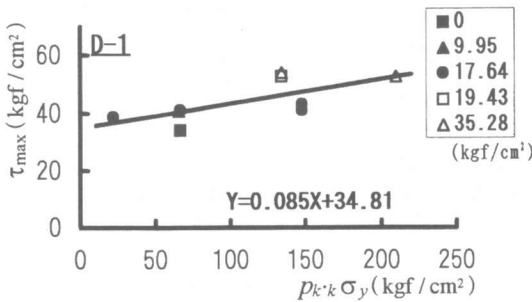


図 14 $p_k \cdot k \sigma_y$ (斜筋+縦筋) - τ_{\max} の関係

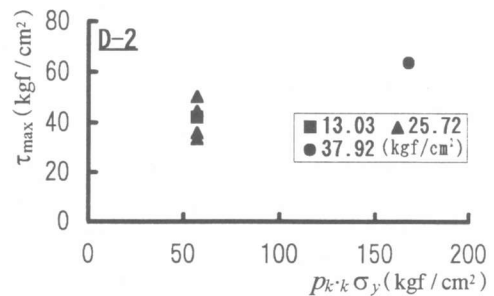


図 15 $p_k \cdot k \sigma_y$ (斜筋+水平筋) - τ_{\max} の関係

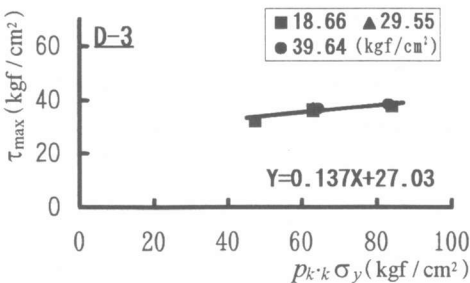


図 16 $p_k \cdot k \sigma_y$ (斜筋+縦筋) - τ_{\max} の関係

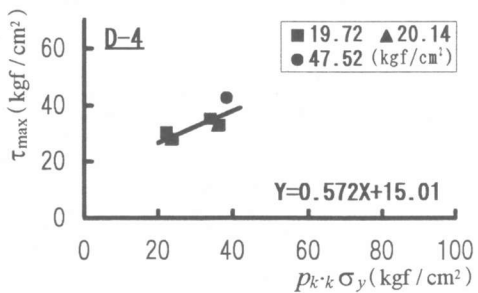


図 17 $p_k \cdot k \sigma_y$ (斜筋+水平筋) - τ_{\max} の関係

図 17 は、孔際あばら筋量 $p_s \cdot s \sigma_y$ の変数の種類や試験体数も少ないが、補強材の量の増加に対して耐力の上昇が大きく、直線の傾きも大きい。4 つの中では D-4 が一番効果を出せている。

3. 5 リング筋+斜筋+縦（水平）筋型（E-1）
 図 18 は、補強材の量の増加によって強度が上昇している。しかし、3つの形の補強材を組合わせて作られた補強材であるが、耐力の上昇が一番大きいというわけではない。

3. 6 補強方法別の比較に対する考察

図 9～図 17 をみると、D-4 の斜筋と水平筋を組合せたものが耐力上昇が最も大きく、次に大きいのが E-1 のリング筋と斜筋と縦筋を使用したものである。図 9・10 と図 11～13 を比較すると、リング筋と斜筋とではリング筋の補強材が効果がある。又、斜筋と縦（水平）筋を組合せたものは斜筋単独のものより耐力上昇が小さくなっている。

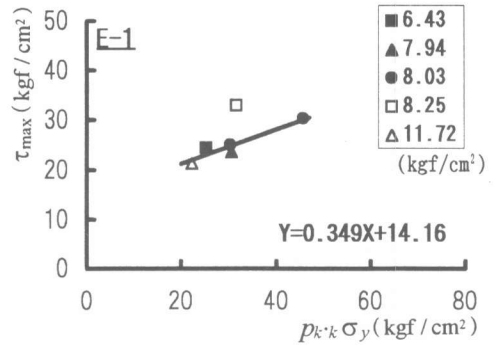


図 18 $p_k \cdot k \sigma_y$ (リング筋+斜筋+縦筋) - τ_{max} の関係

4. まとめ

- ①簡易補強材が無く孔際あばら筋のみの補強は、補強効果の傾きが 0.8 と一番大きく、補強筋量に対して効果が大きくなっている。補強材を入れてもこれよりも大きな耐力上昇を示したものは無い。
- ②補強方法別に見ると斜筋と水平筋を組合せたものが耐力上昇が大きく、次に大きいのがリング筋と斜筋と縦筋を使用したもので、斜筋とリング筋とではリング筋の補強材が効果がある。斜筋と縦（水平）筋を組合せたものは斜筋単独のものより耐力上昇が小さくなっている。
- ③補強材量を多くすると、耐力を上昇させる事が可能であるが、開孔部の補強筋量には一定の限界があり、孔際あばら筋量と金物量のバランスが悪いと耐力は逆に減少する場合もある。
- ④今後、詳細な力学モデルに立脚したアプローチが必要である。

【参考文献】

- [1] 日本建築学会：鉄筋コンクリート終局強度設計に関する資料
- [2] 大久保全陸：鉄筋コンクリート造有孔ばりの設計方法と研究および貫通孔補強材の開発の現状、コンクリート工学、Vol. 32-8、pp. 7～13、'94. 8
- [3] 清水泰、李正浩：鉄筋コンクリート造有効梁のせん断耐力評価式に関する検討、JCI 論文報告集、Vol. 15-2、pp. 311～316、'93
- [4] 広沢雅也、清水泰：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、No. 331、pp. 93～101、1979. 3
- [5] 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規程・同解説、1988

【使用した試験体の引用文献】

- [1] ～ [3] 黒正清治、林静雄等：鉄筋コンクリート造有孔ばりの実験的研究(その 1・3・4)、大会、pp. 1487～1488、pp. 1499～1502、'80. 9
- [4] ～ [5] 黒正清治、梶原恵治等：鉄筋コンクリート有孔梁の補強方法に関する実験的研究(その 7・8)、大会、pp. 679～682、'92. 8
- [6] 豊田将文、山本俊彦等：鉄筋コンクリート造有孔梁の補強方法に関する実験的研究(その 11)、大会、pp. 927～928、'94. 9
- [7] 大村哲矢、松崎育弘等：開口を有する RC 梁のせん断性状に関する実験研究、大会、pp. 455～456、'93. 9
- [8] ～ [9] 菊本一高、佐藤立美：新形状の補強金物による鉄筋コンクリート有効梁の開口補強に関する実験的研究(その 3・4)、大会、pp. 453～454、'93. 9、pp. 925～926、'94. 9
- [10] 河合幹太、松崎育弘等：鉄筋コンクリート有孔梁のせん断性状に関する実験研究、大会、pp. 327～328、'90. 10
- [11] ～ [14] 縄田信一等：鉄筋コンクリート開口梁のせん断性状に関する実験研究(その 1～4)、大会、pp. 315～318、'90. 10、pp. 293～296、'91. 9
- [15] 多田好視、松崎育弘等：鉄筋コンクリート開口梁のせん断性状に関する実験研究、大会、pp. 297～298、'91. 9
- [16] 河合幹太、松崎育弘等：開口を有する RC 梁のせん断力に対する補強筋の抵抗機構に関する実験的研究、大会、pp. 673～674、'92. 8
- [17] 縄田信一、松崎育弘等：鉄筋コンクリート開口梁のせん断性状に関する実験研究、大会、pp. 683～684、'92. 8
- [18] 渡辺高朗、松崎育弘等：開口を有する RC 梁のせん断性状に関する実験研究、大会、pp. 449～450、'93. 9
- [19] 津村浩三、渡部丹等：鉄筋コンクリート有孔梁の弾塑性挙動(その 3)、大会、pp. 241～242、'88. 10
- [20] ～ [22] 柴田正隆、南宏一等：13000 級開孔補強筋を用いた RC 有孔梁のせん断破壊性状(その 1・2・3)、大会、pp. 935～940、'94. 9
- [23] 益尾澤、南宏一等：高強度開孔補強筋を用いた RC 有孔梁のせん断破壊性状、JCI、Vol. 15-2、pp. 293～298、'93
- [24] ～ [27] 岸本幸秀、広沢雅也等：鉄筋コンクリート造有孔梁の耐震性状に関する実験研究(その 4・10～12)、大会、pp. 333～334、'90. 10、pp. 691～692、'92. 8、pp. 461～464、'93. 9
- [28] 松崎育弘、多田好視等：鉄筋コンクリート有孔梁の剪断性状に関する実験研究(その 1)、大会、pp. 429～430、'89. 10
- [29] 松崎育弘、後藤和己等：開口を有する RC 梁の剪断性状に関する実験研究、大会、pp. 457～458、'93. 9
- [30] 下妻泰、林静雄：鉄筋コンクリート有孔梁の剪断伝達に関する実験研究、JCI、Vol. 12-2、pp. 333～338、'90
- [31] 大須賀浩、林静雄：偏心開口を有する鉄筋コンクリート梁の実験研究、JCI、Vol. 14-2、pp. 227～232、'92

(大会：日本建築学会大会学術講演梗概集、JCI：コンクリート工学年次論文報告集)