Japan Concrete Institute

論文 斜筋補強されたRC有孔梁のせん断強度解析

坂田弘安*1 市之瀬敏勝*2 神谷典良*3

要旨：一孔の鉄筋コンクリート(以下ＲＣ)有孔梁に対してトラスモデルを用いてせん断強度解析を行った。解析には，コンクリートの有効圧縮強度・ストラットの有効範囲を仮定し，ストラットの水平分力により鉄筋に生じる応力度は降伏応力度を越えず，それにより生じる付着応力度も付着強度を越えないという条件を用いた。先ず，開口補強されていないＲＣ有孔梁および斜筋補強されたＲＣ有孔梁の強度解析を行い，実験結果と比較することにより本解析法の有効性を示した。続いて斜筋補強された場合に対して，斜筋の定着位置，斜筋量，せん断補強筋量をパラメータに解析を行い，その力学的挙動を調べた。

キーワード：有孔梁，トラスモデル，斜筋補強，定着位置，補強筋量

1. 序論

開口補強したＲＣ有孔梁に関する実験的研究は数多く行われており，広沢式に代表される強度算定の実験式も提案されている。しかし，解析的な研究は数少なく力学的挙動に関しても不明な点が多い。筆者らは，トラスモデルにより，有孔梁の孔の直径を変化させた場合，補強筋の降伏強度を変化させた場合，孔の数を変化させた場合，孔の位置を上下に変化させた場合についてせん断強度解析を行ってきた [1, 2]。本論文では，文献 [1] で示した有孔梁のトラスモデルによる解析方法を改良し，一孔の有孔梁に対して実験結果と比較することにより解析方法の有効性を示すとともに，斜筋による開口補強効果に関して言及する。

2. 解析仮定

トラスモデルによる解析に当たり以下の仮定を設ける。

1) 図1の肋筋の内側 ($b_e \times j_e$) をコンクリートの有効範囲とし，文献 [3] と同様にコンクリート有効圧縮強度 σ_e を以下のように仮定する。

$$\sigma_e = 0.4\sigma_B + 9 \quad (\sigma_B > 20\text{MPa}) \qquad \cdots (1)$$

$$\sigma_e = 0.85\sigma_B \quad (\sigma_B \leqq 20\text{MPa}) \qquad \cdots (2)$$

σ_B：コンクリート圧縮強度

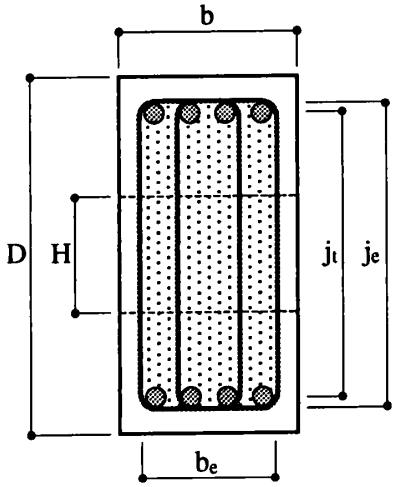

図1 コンクリートの有効範囲

2) ストラットの有効範囲に関し，①ストラットおよびストラットが合成されてできる三角形領域は，図1の有効範囲にあり，孔の内側を通らない。ただし，加力点近傍にできる三角形領域は，有効範囲に限らず部材内部にあるものとする。②ストラットは重複しない。

3) ストラットの受けの部分における水平分力は，主筋の降伏強度および，付着強度により制限を受ける。付着強度 τ_{bu} は文献 [4] により以下のように仮定する。

*1 愛知産業大学助教授・工博 造形学部建築学科（正会員）
*2 名古屋工業大学助教授・工博 社会開発工学科（正会員）
*3 名古屋工業大学・学生 社会開発工学科

NII-Electronic Library Service

$$\tau_{bu} = k\left[0.15b_1 + 0.2 + \left(1 + \frac{S_n}{R_n}\right)\cdot 10q_{mt}\right]\sigma_B{}^{2/3} \quad \cdots (3)$$

$$k = \frac{3000 + \sigma_B}{4000} \qquad (\sigma_B \leqq 1000\ \text{kgf/cm}^2) \quad \cdots (4)$$

$$k = 1 \qquad (\sigma_B > 1000\ \text{kgf/cm}^2) \quad \cdots (5)$$

$$b_1 = \frac{b}{R_n \cdot R_d} - 1 \quad \cdots (6)$$

$$q_{mt} = \frac{A_w \cdot S_n}{R_n \cdot R_d \cdot S_S} \quad \cdots (7)$$

ただし，A_w：肋筋断面積 (mm^2)，R_n：主筋本数，R_d：主筋径 (mm)，S_s：肋筋間隔 (mm)，
b：梁幅 (mm)，S_n：肋筋本数，k：低減係数

3. 解析方法

本論文では一孔の有孔梁に対して斜筋による開口補強効果を調べるために以下の３タイプの有孔梁を対象とする。図2に示すようなせん断補強筋以外の開口補強筋がない場合，図3に示すように斜筋を孔の真下に定着した場合，および図4に示すように斜筋を孔の両脇の肋筋に定着した場合である。それぞれに対して図5，6，7に示す様なトラスモデルを想定する。R はストラットの圧

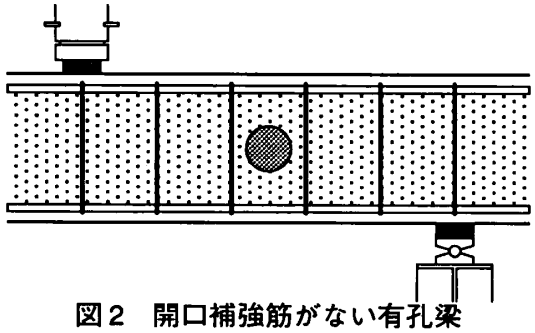

図２　開口補強筋がない有孔梁

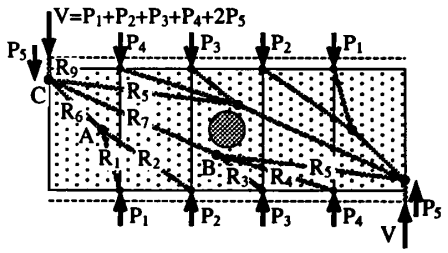

図５　開口補強筋がない場合のトラスモデル

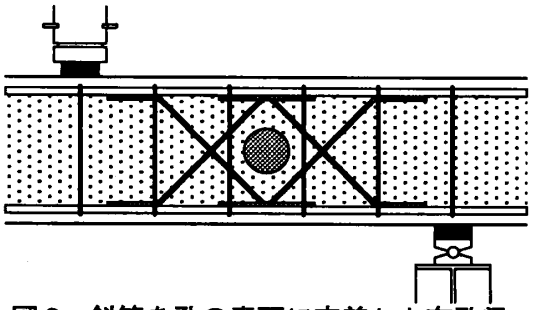

図３　斜筋を孔の真下に定着した有孔梁

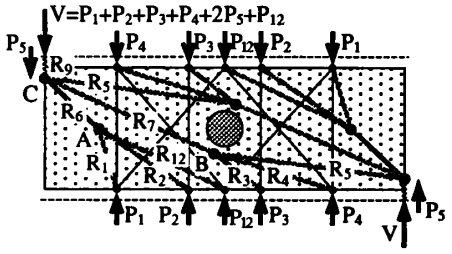

図６　斜筋を孔の真下に定着した場合のトラスモデル

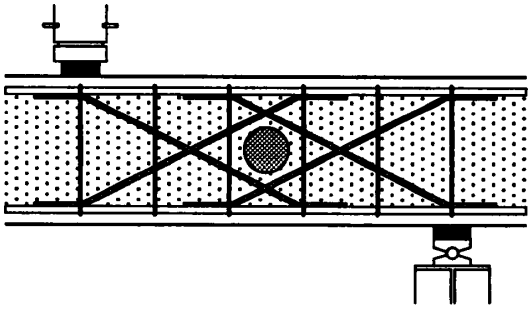

図４　斜筋を孔の両脇の肋筋に定着した有孔梁

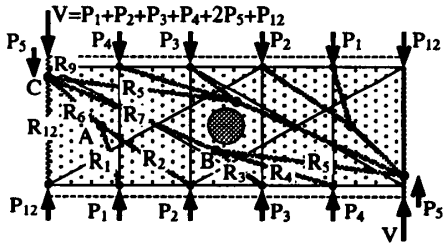

図７　斜筋を孔の両脇の肋筋に定着した場合のトラスモデル

NII-Electronic Library Service

Japan Concrete Institute

縮力，P はストラットの鉛直分力，A，B，Cは分岐点であり，この3点および補強筋の応力を2．の解析仮定の範囲で変動させる。文献 [1] の方法では分岐点Cを主筋とせん断補強筋の交点に固定していたため，孔径比が大きい場合，シアスパン比が小さい場合に孔によりストラットが形成されず解析できない場合があった。このため本解析では，分岐点Cを加力点から梁成の1/2より小さい範囲で鉛直方向に変動させる。今回の解析の範囲では結果的には，例えば図11～13，図15～17に示すようにC点は多少内側に入ってはいるが不合理な位置には求められてはいない。

図5，6，7のストラットは太さのない線で示しているが，実際には幅 w を持ち，三角形領域を介して合成される。i番目のストラットに作用している圧縮力を R_i とすると $w_i=R_i/(\sigma_e*b_e)$ で表される幅を考慮したストラットにおいて，2．の仮定条件のもとで，肋筋の引張力の釣合，分岐点での釣合を考慮してせん断力 V を求める。V の最大値をせん断強度 V_u とする。

4. 解析結果

4-1 実験値と解析値の比較

図8に開口補強筋がない場合 (試験体記号N [5]，No.1&No.4 [6]，No.7 & No.12 & No.13 [7]，No.1 & No.2 & No.3 [8]，N1 [9]，M [10])，図9に斜筋で開口補強した場合 (試験体記号M5 [5]，L1 [9]，No.4 & No.5 & No.6 & No.7 & No.8 [11]) のせん断強度の実験値と解析値の比較を示す。縦軸が基準化せん断強度 ($V_u/(b_e j_e \sigma_e)$) の実験値，横軸が解析値である。実験値/解析値は，開口補強筋がない場合は平均値0.99，変動係数12%，斜筋で開口補強した場合は平均値0.91，変動係数5.1%であり，実験値とよく対応している。

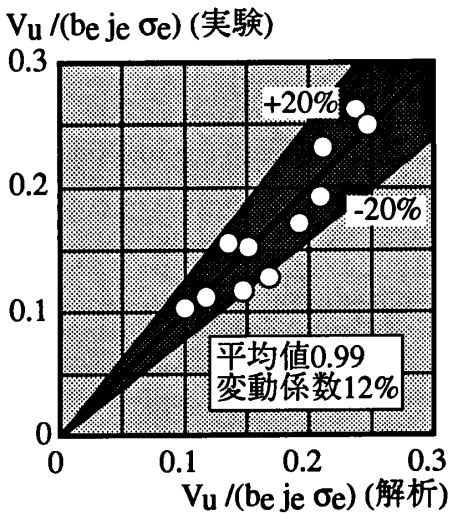

図8 開口補強筋がない場合の実験値と解析値の比較

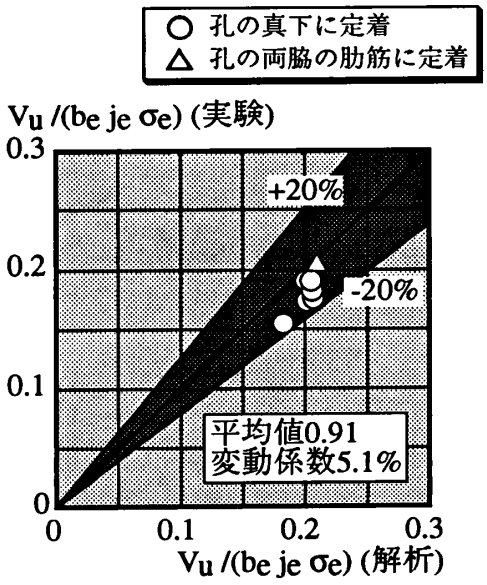

図9 斜筋で開口補強した場合の実験値と解析値の比較

4-2 斜筋を孔の真下に定着した場合に斜筋量を変化させた場合のせん断強度

斜筋を孔の真下に定着した場合に斜筋量を変化させた場合のせん断強度の負担割合を図10に示す。縦軸が基準化せん断強度，横軸が基準化斜筋強度 ($F_{dsy}/(b_e j_e \sigma_e)$) である。ただし F_{dsy} は全斜筋が降伏したときの斜筋の引張強度である。図11，12，13はそれぞれ $F_{dsy}/(b_e j_e \sigma_e)$ =0.06，0.12，0.18のときのトラス詳細図である。斜筋量が多くなるとせん断強度は大きくなる。しかし，せん

NII-Electronic Library Service

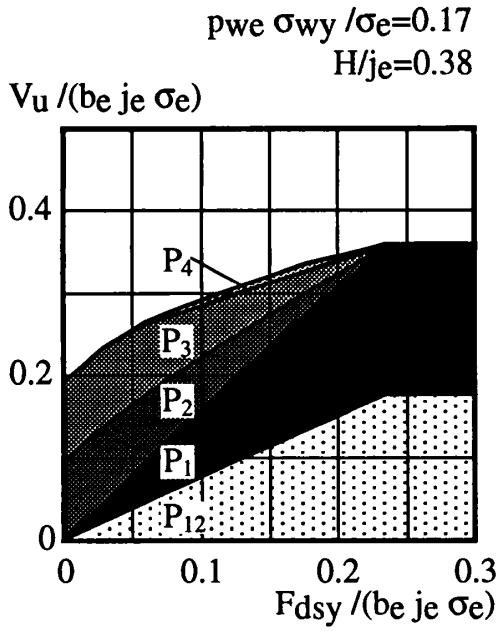

図10　斜筋を孔の真下に定着した場合に斜筋量を変化させた場合のせん断強度の負担割合 ($p_{we}\,\sigma_{wy}/\sigma_e$=0.08)

断強度は斜筋量に対して比例して上昇することはなく頭打ちとなる。これは，図11～13に示す様に，孔の下にストラットが集中しており，ストラットの幅が制限されやすいためである。つまり，孔の下にできるストラットの力が制限され，孔の両脇の肋筋が受け持つストラットの鉛直分力 P_2，P_3 および斜筋が受け持つストラットの鉛直分力 P_1，P_{12} が制限されるため強度の上昇が抑えられるからである。

4-3　斜筋を孔の両脇の肋筋に定着した場合に斜筋量を変化させた場合のせん断強度

斜筋を孔の両脇の肋筋に定着した場合に斜筋量を変化させた場合のせん断強度の負担割合を図14に示す。縦軸が基準化せん断強度，横軸が基準化斜筋強度である。図15，16，17はそれぞれ $F_{dsy}/(b_e j_e \sigma_e)$ =0.06，0.12，0.18のときのトラス詳細図である。斜筋量が多くなるとせん断強度は，この斜筋量の範囲では斜筋量に比例して上昇する。これは，図15～17に示す様に，

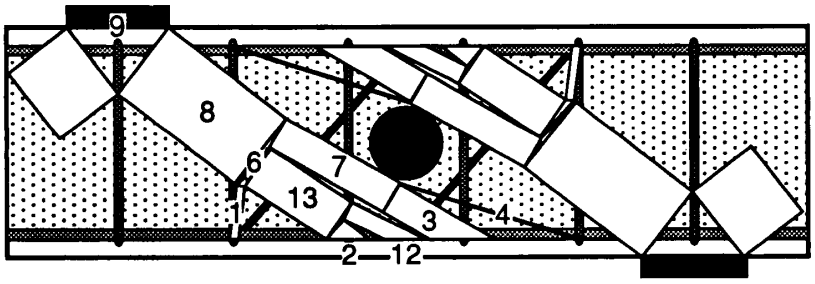

図11　$F_{dsy}/(b_e j_e \sigma_e)$ =0.06の場合

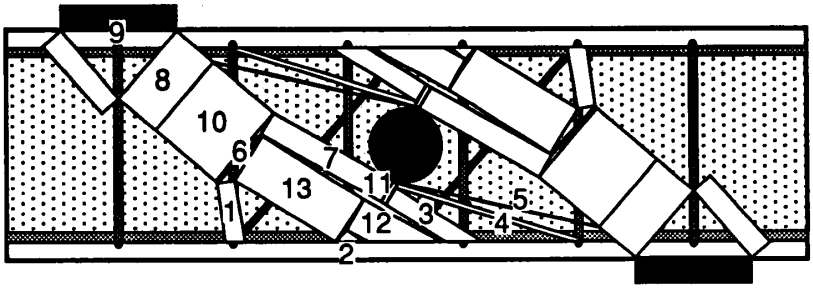

図12　$F_{dsy}/(b_e j_e \sigma_e)$ =0.12の場合

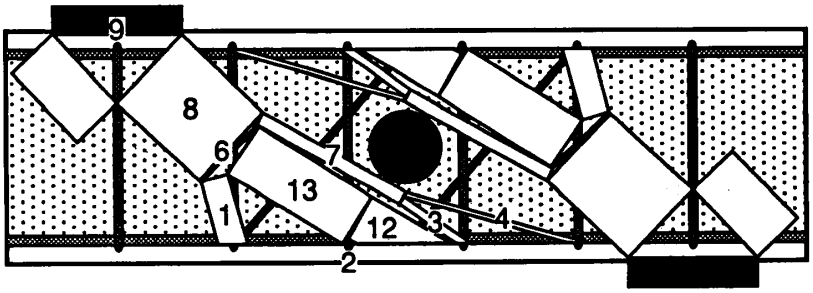

図13　$F_{dsy}/(b_e j_e \sigma_e)$ =0.18の場合

NII-Electronic Library Service

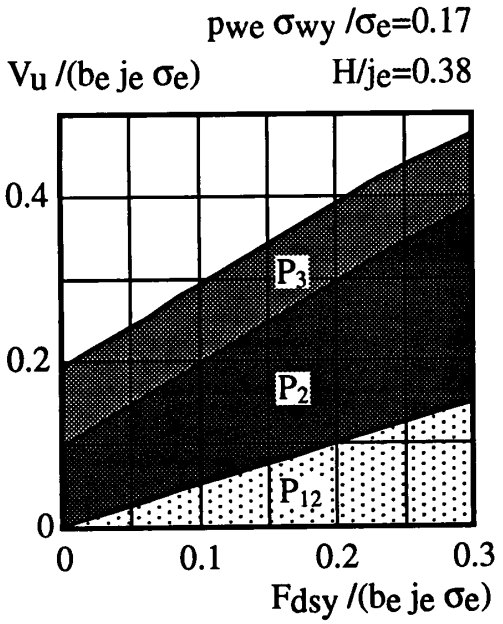

図14　斜筋を孔の両脇の肋筋に定着した場合に斜筋量を変化させた場合のせん断強度の負担割合 ($p_{we}\,\sigma_{wy}/\sigma_e$=0.17)

孔の下のストラットに余裕があり，斜筋を孔の真下に定着した場合に比べてストラットの幅が制限されにくいためである。つまり，孔の両脇の肋筋が受け持つストラットの鉛直分力 P_2，P_3 が減少せず，斜筋が受け持つストラットの鉛直分力 P_2，P_{12} が斜筋量に比例して増加するためである。

4-4　斜筋量を変化させた場合の，肋筋量，斜筋の定着位置の違いによるせん断強度

斜筋量を変化させた場合の，肋筋量，斜筋の定着位置の違いによるせん断強度の解析結果を図18に示す。縦軸が基準化せん断強度，横軸が基準化斜筋強度である。基準化肋筋量 $p_{we}\,\sigma_{wy}/\sigma_e$=0.08 および 0.21 の場合を示している。破線は斜筋を孔の真下に定着した場合であり，実線は斜筋を孔の両脇の肋筋に定着した場合である。斜筋量が小さいときは，斜筋を孔の真下に定着した場合の方が斜筋を孔の両脇の肋筋に定着した場合よりせん断強度が大きい。これは主筋と斜筋のなす角度が大きいため斜筋の引張力の鉛直分

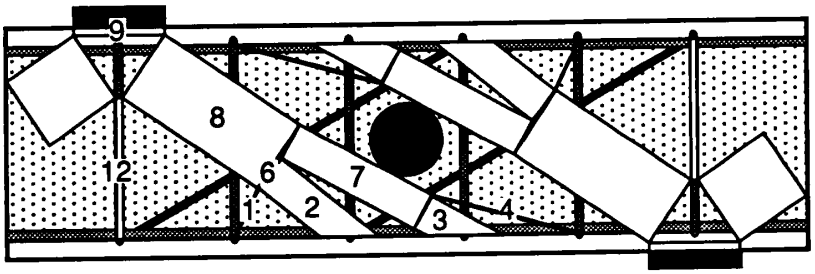

図15　$F_{dsy}/(b_e j_e \sigma_e)$ =0.06 の場合

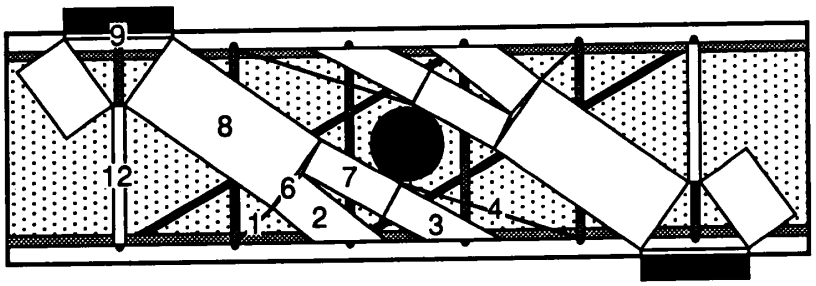

図16　$F_{dsy}/(b_e j_e \sigma_e)$ =0.12 の場合

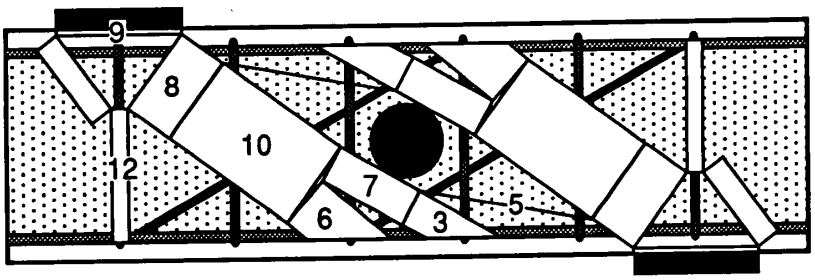

図17　$F_{dsy}/(b_e j_e \sigma_e)$ =0.18 の場合

NII-Electronic Library Service

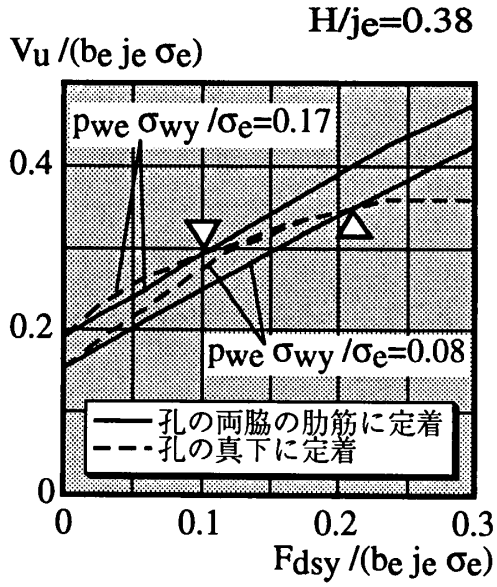

図18　斜筋量を変化させた場合の，肋筋量，斜筋の定着位置の違いによるせん断強度

力が大きいからである。しかし，斜筋量が多くなるとせん断強度が頭打ちとなる。これに対し，先にも述べたように斜筋を孔の両脇の肋筋に定着した方は，この斜筋量の範囲ではせん断強度が斜筋量に比例して上昇する。よって，斜筋量が大きくなると，図中の△で示す位置でせん断強度の逆転現象が起き，斜筋を孔の両脇の肋筋に定着した方がせん断強度が大きくなる。

肋筋量の異なる場合について比較すると，肋筋量が小さいとき，つまり基準化肋筋量 $p_{we}\sigma_{wy}/\sigma_e$=0.08 のときは $F_{dsy}/(b_e j_e \sigma_e)$ =0.21 のときに定着位置によるせん断強度の逆転現象が起こり，肋筋量が大きいとき，つまり $p_{we}\sigma_{wy}/\sigma_e$=0.17 のときは $F_{dsy}/(b_e j_e \sigma_e)$ =0.1 のときに逆転現象が起こる。つまり肋筋量が大きくなると，小さい斜筋量で定着位置によるせん断強度の逆転現象が起こる。

5. 結論

1) 本解析法により実験結果を説明することができ，解析法の有効性を示した。
2) 斜筋量，肋筋量がある程度小さいときは，孔の真下に定着した方が有効である。斜筋量，肋筋量がある程度大きいときは，孔の両脇の肋筋に定着した方が有効である。

参考文献

1) 市之瀬敏勝，杉浦光彦：トラスモデルによるRC有孔梁のせん断強度解析，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.15，No.2，1993，pp.305-310
2) 市之瀬敏勝，小椋紀行：2個の孔を持つRC梁のせん断強度解析，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.16，No.2，1994，pp.551-556
3) 市之瀬敏勝，横尾慎一：スパイラル筋を使用したRC梁のせん断強度，日本建築学会構造系論文報告集，No.441，1992.11，pp.85-91
4) 市之瀬敏勝，横尾慎一：高強度コンクリートを用いたRC部材の付着割裂実験，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.14，No.2，1992，pp.75-80
5) 大島和義他：鉄筋コンクリート有孔梁のせん断補強に関する実験的研究¥（その6：ワイヤメッシュ併用の補強方法について），日本建築学会大会学術講演梗概集，1978，pp.1599-1600
6) 坂恵一己他：鉄筋コンクリート造有孔梁の耐震性能に関する実験研究（その1）実験概要および実験結果，日本建築学会大会学術講演梗概集，1989，pp.423-424
7) 縄田信一他：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　実験概要および実験結果），日本建築学会大会学術講演梗概集，1990，pp.315-316
8) 三橋博巳他：高強度コンクリートと高強度鋼材を用いたＲＣ造有孔梁のせん断耐力，日本建築学会大会学術講演梗概集，1993，pp.447-448
9) 市之瀬敏勝他：高強度コンクリートを用いたＲＣ有孔梁のせん断実験，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.14，No.2，1992，pp.221-226
10) 前口剛洋他：ＲＣ有孔梁の省力せん断補強方法に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.14，No.2，1992，pp.239-244
11) 渡辺高朗他：鉄筋コンクリート開口梁における開口部補強筋のせん断性状に関する実験研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，1992，pp.685-686

NII-Electronic Library Service