

論文 RC 有孔梁のシアスパン比に関するせん断強度解析

神谷 典良*1・市之瀬 敏勝*2・坂田 弘安*3・山村 潤一*4

要旨：1個の孔を持つRC有孔梁についてシアスパン比に関するせん断強度解析を行った。比較のために孔のないRC梁についても解析を行った。解析ではトラスモデルを用い、コンクリートの有効範囲、コンクリート有効圧縮強度を仮定し、ストラットの水平分力は主筋の付着強度により制限を受けるとした。孔径比、せん断補強筋比が異なる場合にシアスパン比をパラメータに解析を行い、アーチ作用とトラス作用によるせん断強度の負担割合などの力学的挙動を調べた。

キーワード：有孔梁、せん断強度、シアスパン比、アーチ作用、トラス作用

【1】序論

現在、孔のないRC梁（以下、無孔梁）ではシアスパン比のせん断強度に対する影響は、数多くの研究により明らかにされており、種々のせん断強度の算定式にも考慮されている。しかし、RC有孔梁に関しては解析的研究は数少なく、力学的挙動に関しても不明な点が多い。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、有孔梁および無孔梁でせん断補強筋比やシアスパン比のせん断強度に対する影響を調べる。

【2】解析仮定

図1に示す様な部材中央に1個の孔を持つ梁について解析を行う。 V はせん断力、 H は孔径、 A_0 はシアスパン、 D は梁せいである。トラスモデルによる解析にあたり、文献 [1] と同様に以下の仮定を設ける。

- 1) 図2に示す様にあばら筋の内側 ($b_e \times j_e$) をコンクリートの有効範囲とし、文献 [2] と同様にコンクリート圧縮強度 σ_B よりコンクリート有効圧縮強度 σ_e を仮定する。
- 2) ストラットおよびストラットによって形成される三角形領域は図2の有効範囲にあり、孔を通らない。ただし、加力点近傍では有効範囲に限らず部材内部にあるものとする。また、ストラットは重複しない。
- 3) ストラットの水平分力は、主筋とあばら筋の接するストラットのノードの部分で、付着強度により制限を受ける。付着強度 τ_{bu} は文献 [3] と同様に算定する。
- 4) 加力点間に4組のあばら筋を想定する。これは、あばら筋を孔の近傍とそれ以外の部分に分類

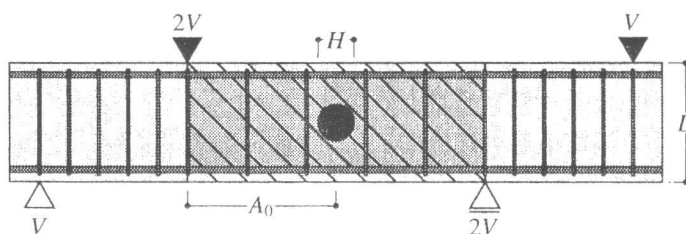


図1：全体図

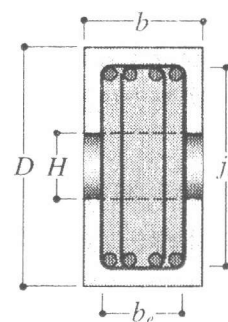


図2：有効範囲

*1 名古屋工業大学大学院 工学研究科 社会開発工学科専攻（正会員）

*2 名古屋工業大学助教授 工学部社会開発工学科，工博（正会員）

*3 愛知産業大学助教授 造形学部建築学科，工博（正会員）

*4 名古屋工業大学学生 社会開発工学科

してモデル化したものである。
あばら筋のモデル化については
付録に記す。

【3】解析方法

図3に示す様なトラスモデルを
想定する。Rはストラットの圧縮
力、Pはストラットの鉛直分力、
A、B、C、Dはストラット分岐点
である。文献 [1] では図3 (a) に
示す様に分岐点Cからストラット

R_5 を分岐させていたため、せん断補強筋比を0
にした場合にもストラット R_5 が孔を迂回して折
れ曲がらなければならず、せん断強度が0に
なってしまう場合があった。このため、図3 (b)
に示す様にストラット R_5 の新たな分岐点Dを設
け、ストラット R_5 が加力点間をまっすぐ流れ得
る様に改良した。また、ストラットは実際には
幅Wを持つ。 i 番目のストラットの圧縮力を R_i
とすると、 W_i は $W_i=R_i/(\sigma_e b_e)$ で得られる。こ
こではストラットの応力を σ_e としているがこれ
は必ずしもストラットの圧壊を意味するもので
はない。この幅を考慮したストラットにおいて、
【2】の仮定条件の範囲で、あばら筋の応力および
分岐点の位置を変動させる。ただし、分岐点C、
Dは梁せいの1/2を越えない範囲で変動させる。
そして、あばら筋の引張力の釣合、分岐点でのス
トラット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

本解析では、せん断強度 V_u をアーチ作用による負担
分 V_{ua} とトラス作用による負担分 V_{ut} の和としている。
図4に示す様にあばら筋を介さず加力点を直接結ぶス
トラットをアーチ作用とし、 $V_{ua}=2P_5$ をアーチ作用によ
る負担分としている。図5に示す様にあばら筋に入るス
トラットをトラス作用とし、 $V_{ut}=P_1+P_2+P_3+P_4$ をトラス
作用による負担分としている。

4-1：実験値と解析値の比較

せん断強度の実験値と解析値の比較を図6に示す。縦
軸が基準化せん断強度 $V_u/(b_e j_e \sigma_e)$ 、横軸がシアスパン

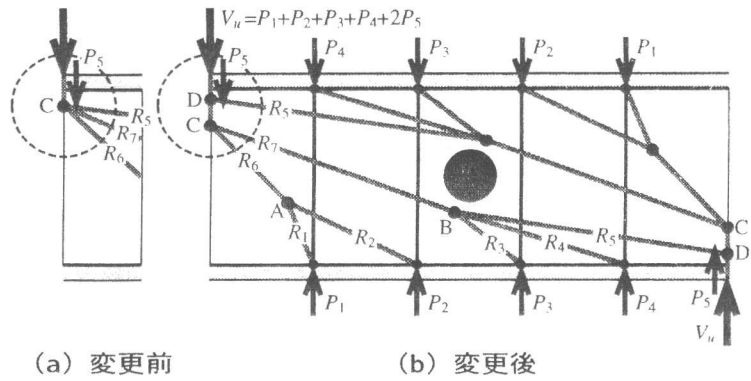


図3：トラスモデル

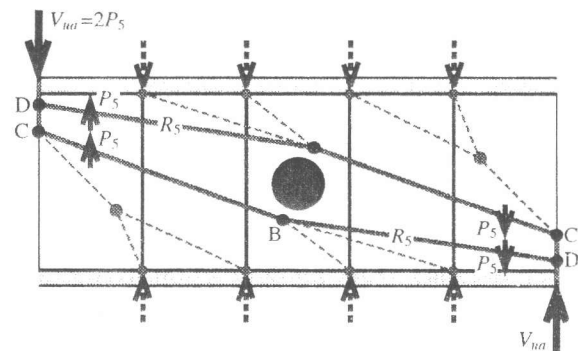


図4：アーチ作用

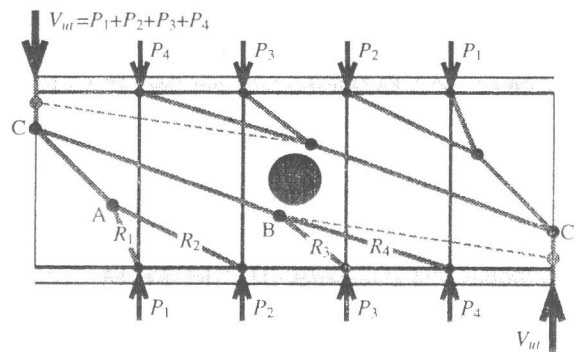


図5：トラス作用

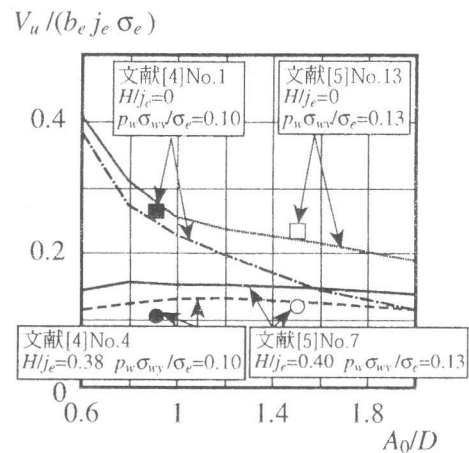


図6：実験値と解析値の比較

比 A_0/D , プロットが実験値である。 p_w はせん断補強筋比, σ_{wy} はあばら筋の降伏強度である。文献 [4], [5] より4体の試験体を抜粋し, モデル化 (付録参照) して解析を行った。シアスパン比に関わらず実験値とよく対応している。

表1に示す特性を持つ梁を仮定して以下の解析を行った。

4-2: 無孔梁でシアスパン比を変化させた場合

無孔梁でシアスパン比を変化させた場合のせん断強度の負担図を図7 ($p_w \sigma_{wy} / \sigma_e = 0.06$), 図8 ($p_w \sigma_{wy} / \sigma_e = 0.32$) に示す。縦軸が基準化せん断強度, 横軸がシアスパン比である。また, トラス図を図9 ($p_w \sigma_{wy} / \sigma_e = 0.06$), 図10 ($p_w \sigma_{wy} / \sigma_e = 0.32$) に示す。(a), (b) は各々, $A_0/D = 0.8, 1.6$ の場合である。なお, 黒色の加力板の近傍は支圧状態にあるので, 加力板から三角形の二軸圧縮領域への応力伝達はスムーズに行われるものと仮定した。

表1: 解析モデルの特性

梁せい	D	400(mm)
梁幅	b	200(mm)
有効せい	j_e	340(mm)
有効幅	b_e	160(mm)
コンクリート圧縮強度	σ_B	25(MPa)
主筋の降伏強度	σ_{ry}	∞ (MPa)
主筋の本数	R_n	4(本)
主筋の直径	R_d	20(mm)
あばら筋の降伏強度	σ_{wy}	400(MPa)
1組のあばら筋の本数	S_n	4(本)

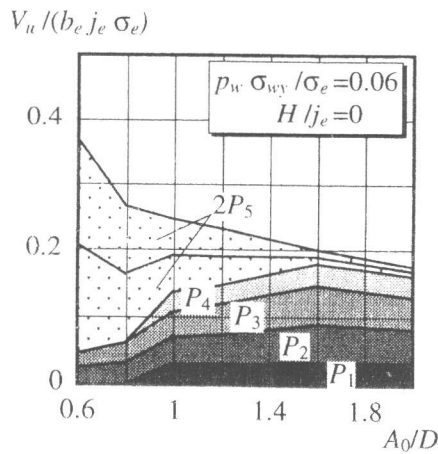


図7: 無孔梁でシアスパン比を変化させた場合のせん断強度の負担図 ($p_w \sigma_{wy} / \sigma_e = 0.06$)

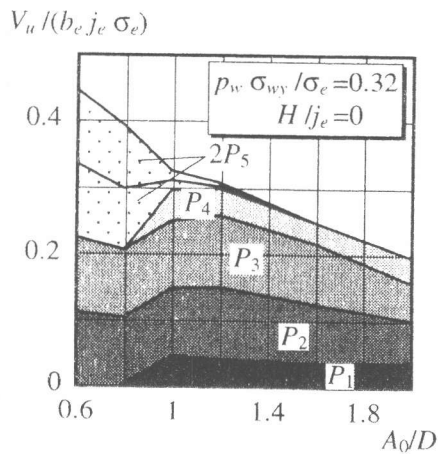
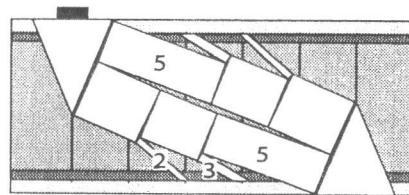
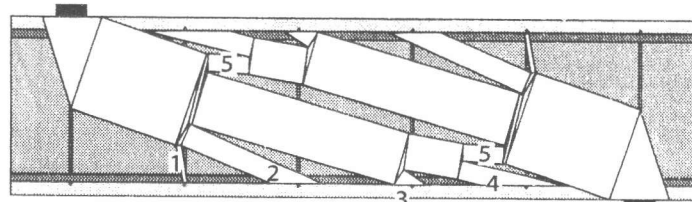


図8: 無孔梁でシアスパン比を変化させた場合のせん断強度の負担図 ($p_w \sigma_{wy} / \sigma_e = 0.32$)

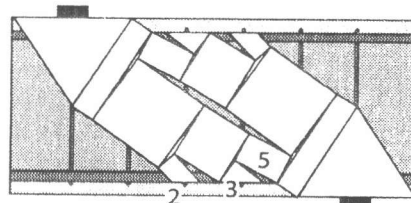


(a) $A_0/D = 0.8$ の場合

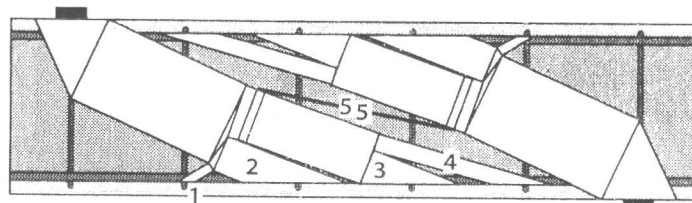


(b) $A_0/D = 1.6$ の場合

図9: トラス図 ($p_w \sigma_{wy} / \sigma_e = 0.06$)



(a) $A_0/D = 0.8$ の場合



(b) $A_0/D = 1.6$ の場合

図10: トラス図 ($p_w \sigma_{wy} / \sigma_e = 0.32$)

図7, 図8に示す様に, シアスパン比が大きくなるとせん断強度は減少する。シアスパン比が小さい場合は, 図9 (a), 図10 (a) に示す様に加力点を直接結ぶストラット R_5 が大きくなりやすく, 加力点側のあばら筋に入るストラット R_4 が制限を受けるため, アーチ作用によるせん断強度の負担が大きい。シアスパン比が大きい場合は, 図9 (b), 図10 (b) に示す様にストラットが材軸方向に傾くためにアーチ作用で負担するのが不利になるため, トラス作用による負担が大きい。また, 図7と図8を比較すると, せん断補強筋比が小さい場合の方がアーチ作用による負担が大きい。

4.3: 孔径比が小さい有孔梁でシアスパン比を変化させた場合

孔径比が小さい有孔梁 ($H/j_e=0.15$) でシアスパン比を変化させた場合のせん断強度の負担図を図11 ($p_w \sigma_{wy}/\sigma_e=0.06$), 図12 ($p_w \sigma_{wy}/\sigma_e=0.32$) に示す。また, トラス図を, 図13 ($p_w \sigma_{wy}/\sigma_e=0.06$), 図14 ($p_w \sigma_{wy}/\sigma_e=0.32$) に示す。(a), (b) は各々, $A_0/D=0.8, 1.6$ の場合である。

図11, 図12に示す様に, 無孔梁と同様にシアスパン比が大きくなるとせん断強度は減少する。図7, 図8と比較すると, トラス作用による負担はシアスパン比に関わらず無孔梁とほぼ同様であ

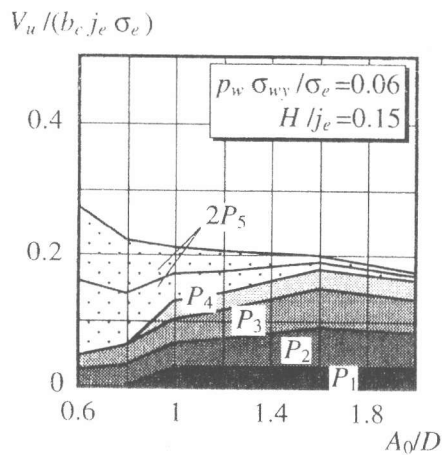


図11: 有孔梁 ($H/j_e=0.15$) でシアスパン比を変化させた場合のせん断強度の負担図 ($p_w \sigma_{wy}/\sigma_e=0.06$)

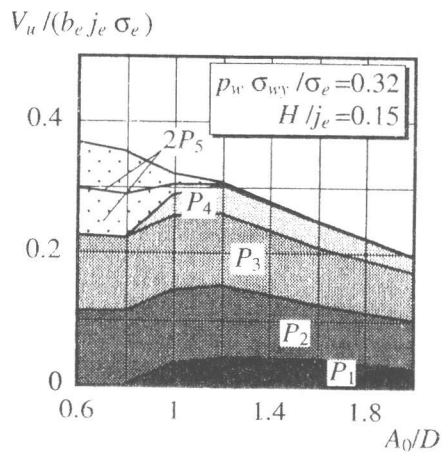
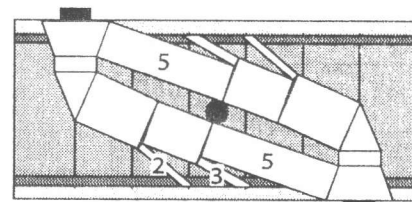
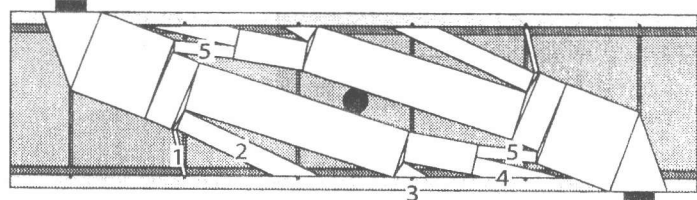


図12: 有孔梁 ($H/j_e=0.15$) でシアスパン比を変化させた場合のせん断強度の負担図 ($p_w \sigma_{wy}/\sigma_e=0.32$)

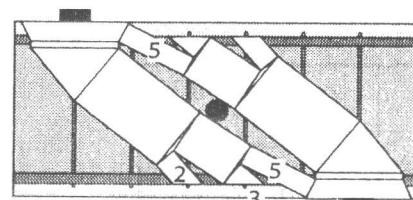


(a) $A_0/D=0.8$ の場合

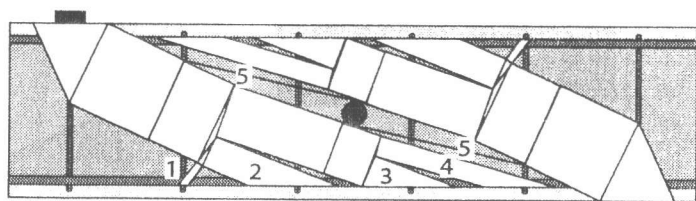


(b) $A_0/D=1.6$ の場合

図13: トラス図 ($p_w \sigma_{wy}/\sigma_e=0.06$)



(a) $A_0/D=0.8$ の場合



(b) $A_0/D=1.6$ の場合

図14: トラス図 ($p_w \sigma_{wy}/\sigma_e=0.32$)

る。図13 (b), 図14 (b) を図9 (b), 図10 (b) と比較すると、孔の有無に関わらずほぼ同様の応力状態であることがわかる。図13 (a), 図14 (a) に示す様に、シアスパン比が小さい場合は、加力点を直接結ぶストラット R_5 が孔のために制限されるため、アーチ作用による負担が無孔梁に比べて小さい。そのため、シアスパン比が小さい場合はせん断強度が無孔梁と比べて小さい。

4.4: 孔径比が大きい有孔梁でシアスパン比を変化させた場合

孔径比が大きい有孔梁 ($H/j_e=0.38$) でシアスパン比を変化させた場合のせん断強度の負担図を図15 ($p_w \sigma_{wy}/\sigma_e=0.06$), 図16 ($p_w \sigma_{wy}/\sigma_e=0.32$) に示す。また、トラス図を、図17 ($p_w \sigma_{wy}/\sigma_e=0.06$), 図18 ($p_w \sigma_{wy}/\sigma_e=0.32$) に示す。(a), (b) は各々, $A_0/D=0.8, 1.6$ の場合である。

せん断補強筋比が小さい場合は、図15に示す様にシアスパン比に関わらずせん断強度はほぼ一定となる。しかし、せん断強度の負担はシアスパン比により大きく異なる。シアスパン比が小さい場合は、図17 (a) に示す様にアーチ作用による負担が大きく、シアスパン比が大きい場合は図17 (b) に示す様にトラス作用による負担に変わる。せん断補強筋比が大きい場合は、図16に示す

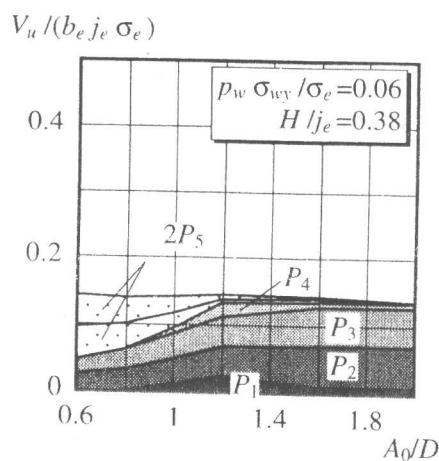


図15: 有孔梁 ($H/j_e=0.38$) でシアスパン比を変化させた場合のせん断強度の負担図 ($p_w \sigma_{wy}/\sigma_e=0.06$)

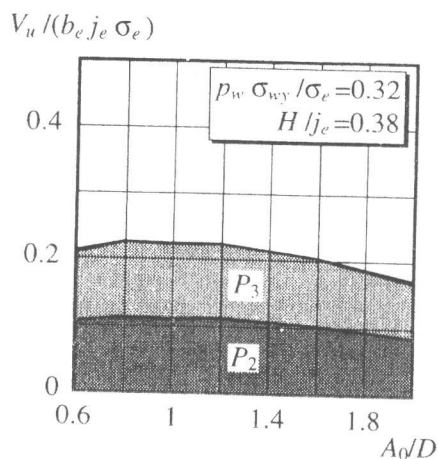
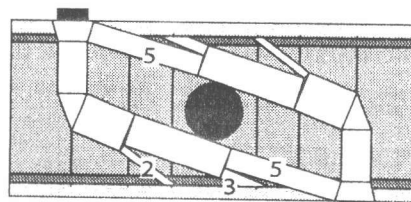
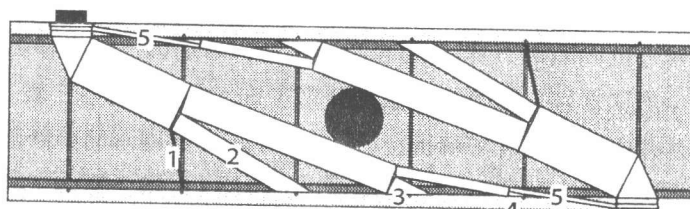


図16: 有孔梁 ($H/j_e=0.38$) でシアスパン比を変化させた場合のせん断強度の負担図 ($p_w \sigma_{wy}/\sigma_e=0.32$)

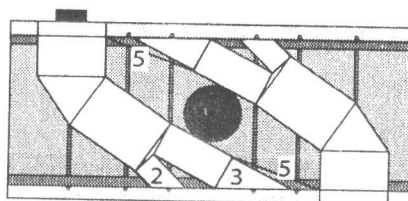


(a) $A_0/D=0.8$ の場合

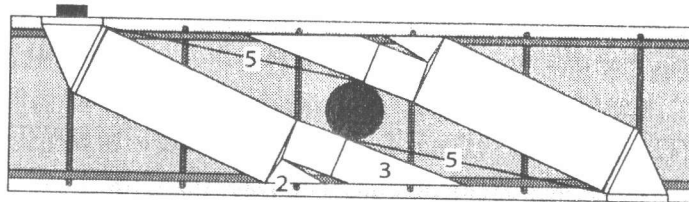


(b) $A_0/D=1.6$ の場合

図17: トラス図 ($p_w \sigma_{wy}/\sigma_e=0.06$)



(a) $A_0/D=0.8$ の場合



(b) $A_0/D=1.6$ の場合

図18: トラス図 ($p_w \sigma_{wy}/\sigma_e=0.32$)

様にシアスパン比が大きくなるとせん断強度は緩やかに減少する。シアスパン比に関わらず図18に示す様に孔の両脇のあばら筋に入るストラット R_2 , R_3 が大きく、トラス作用によってせん断強度を負担している。また、図15, 16を比較すると、せん断補強筋比とシアスパン比が小さい場合は大きな孔をもつ有孔梁でもアーチ作用による負担があることがわかる。

【5】結論

- 1) 孔径比が小さい有孔梁 ($H/j_e=0.15$ 程度) では無孔梁と同様にシアスパン比が大きくなるとせん断強度が減少する。また、シアスパン比とせん断補強筋比が小さい場合はアーチ作用によるせん断強度の負担が大きくなる。
- 2) 有孔梁では孔径比が大きいほど、せん断補強筋比が小さいほど、せん断強度に対するシアスパン比の影響が小さくなる。

付録：あばら筋のモデル化

本解析法は加力点間に4組のあばら筋を想定したトラスモデルを用いている。そのため、あばら筋を以下の方法でモデル化する必要がある。

まず、あばら筋の位置を決定する。加力点間を5等分し間隔 S で4組のあばら筋を想定する。ただし、付図1に示す様に、孔とあばら筋の間に30mmのかぶりを考慮した直径 H_c の円にあばら筋がかかる場合は、孔の両脇のあばら筋間隔が H_c になるまでそのあばら筋の位置を移動させる。

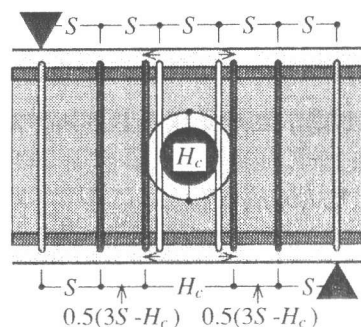
次にあばら筋の断面積を計算する。本解析では、表1に示す特性をもつ梁を仮定して、 A_0 , p_w , H を変化させて解析を行った。1組のあばら筋の断面積 A_w は $A_w = p_w b S$ で得られる。

実験値との比較を行う場合は、付図2に示す様に、実際のあばら筋の断面積を、その左右の想定したあばら筋までの距離の比に応じて想定したあばら筋に分配する。断面積を次式より求める。

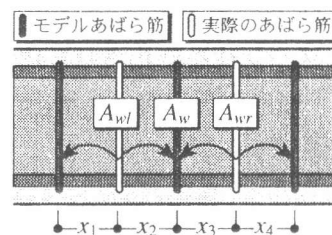
$$A_w = \frac{x_1}{x_1 + x_2} A_{w1} + \frac{x_4}{x_3 + x_4} A_{w2} \dots (1)$$

参考文献

- [1] 坂田弘安, 市之瀬敏勝, 神谷典良: 斜筋補強された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. 17, No. 2, pp. 601-606, 1995
- [2] 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, pp. 85-91, 1992. 11
- [3] 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, pp. 75-80, 1992
- [4] 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), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 423-424, 1989. 10
- [5] 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), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 315-316, 1990. 10



付図1：あばら筋の位置



付図2：あばら筋の分配